

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электропривод и электрооборудование.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Асинхронный электропривод фрезерного станка.

УДК 62-83-523:621.914.3-52

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Алексеев В.И.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Чернышев А.Ю.	К.Т.Н. доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Мелик-Гайказян М.В.	К.Э.Н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И.И.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электропривод и электрооборудование	Дементьев Ю.Н.	К.Т.Н., доцент		

Томск – 2016 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электропривод и электрооборудование

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) Дементьев Ю.Н.
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г12	Алексееву Владимиру Игоревичу

Тема работы:

Асинхронный электропривод фрезерного станка.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 01.04.2016г. № 2533/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Объектом исследования является регулируемый электропривод горизонтально-фрезерного станка на основе двигателя переменного тока.. В качестве исходных данных представлены:</i> <i>Напряжение питающей сети, В – 380</i> <i>Частота питающей сети, Гц – 50</i> <i>Диапазон регулирования – 1:100</i> <i>Электропривод реверсивный</i> <i>Предусмотрена защита от перегрузок и коротких замыканий</i> <i>Перерегулирование скорости не более 10%</i> <i>Время регулирования скорости не более 6с</i></p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования,</i></p>	<p><i>- постановка задачи проектирования;</i> <i>- проектирование электропривода горизонтально-фрезерного станка на основе двигателя переменного тока.;</i> <i>- детальное рассмотрение выбора типа преобразователя и способа регулирования скорости;</i> <i>- расчет и построение естественной механической и</i></p>

проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	электрохимической характеристики электродвигателя; - обсуждение результатов выполненной работы; - разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; - разработка раздела «Социальная ответственность»; - заключение.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	- Структурная схема силового канала электропривода; - Имитационная модель линеаризованного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД в стационарной системе координат.; - Переходная характеристика контура тока, контура скорости.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
«Социальная ответственность»	Романцов Игорь Иванович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.2016г
---	-------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
к.т.н. доцент каф. ЭПЭО	Чернышев А.Ю.	к.т.н. доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Алексеев В.И.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г12	Алексееву Владимиру Игоревичу

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость затрат технического проекта: на материальные затраты, заработную плату, страховые отчисления и накладные расходы</i>	<i>В техническом проекте задействованы 2 человека (руководитель, дипломник). Стоимость материальных ресурсов определялась исходя из средней стоимости по г.Томску. Заработная плата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ</i>
2. <i>Продолжительность выполнения</i>	<i>Оценка приблизительной продолжительности выполнения технического проекта</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Планирование графика работ по реализации технического проекта</i>	<i>Для составления графика работ по реализации технического проекта используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным строится график Ганта.</i>
2. <i>Определение затрат технического проекта</i>	<i>В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Материальные затраты; • Полная заработная плата исполнителей; • Отчисления во внебюджетные фонды; • Накладные расходы;
3. <i>Оценка ресурсной эффективности ИР</i>	<i>Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проекта</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.02.2016г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Алексеев Владимир Игоревич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г12	Алексееву Владимиру Игоревичу

Институт	Энергетический	Кафедра	Электропривод и электрооборудование
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:

вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

Описание рабочего места на предмет возникновения:

*-вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)
- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, электрической, природы)*

2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме

*ПУЭ, СН-245, НПБ 105-03, ГОСТ 12.1.012-90, ГОСТ 12.0.002-97, ГОСТ 12.1.005-97,

СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03*

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;

- действие фактора на организм человека;

- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);

- предлагаемые средства защиты

(сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)

<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактич. мероприятия, средства пожаротушения) 	<ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – разработка и принятие решений по обеспечению экологической безопасности предприятия.
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – эвакуация людей из зданий и помещений.
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.02.2016г
---	-------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И.И.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Алексеев Владимир Игоревич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 128 с., 66 рисунков, 23 таблицы, 31 источника.

Ключевые слова: РЕВЕРСИВНЫЙ РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, МОДЕЛИРОВАНИЕ, СТАНОК.

Объектом исследования является регулируемый электропривод переменного тока.

Целью работы – является создание электропривода горизонтально-фрезерного станка на основе двигателя переменного тока.

В процессе работы был проведен расчет и выбор электрооборудования, рассчитаны параметры элементов и характеристик силовой цепи. Проведен синтез линеаризованной САР, оптимизация контура тока, скорости и потокосцепления. Приведена функциональная схема РЭП. Исследован разработанный ЭП методом имитационного моделирования.

В результате выполнения работы был спроектирован и исследован реверсивный регулируемый электропривод полностью соответствующий техническому заданию.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2003 и представлена на диске (в конверте на обороте обложке).

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Исследовать регулируемый электропривод, предварительно проводя расчет параметров элементов силовой цепи и структурно-параметрический синтез регуляторов САУ РЭП.

Электропривод должен быть настроен так, чтобы обеспечивать следующие технические требования:

Напряжение питающей сети, В – 380

Частота питающей сети, Гц – 50

Диапазон регулирования – 1:100

Электропривод реверсивный

Предусмотрена защита от перегрузок и коротких замыканий

Перерегулирование скорости не более 10%

Время регулирования скорости не более 6с

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	12
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	14
1.1 Объект автоматизации.....	14
1.2 Технический процесс металлообработки.....	15
1.3 Горизонтально-фрезерный станок и его место в металлообработке	15
1.4 Требования к электроприводу горизонтально-фрезерного станка 6М82 ..	19
1.5 Обоснование выбора типа электропривода	20
1.6 Функциональная схема.....	22
2 ПРОЕКТНО-РАСЧЁТНАЯ ЧАСТЬ	26
2.1 Выбор и проверка асинхронного двигателя.....	26
2.2 Выбор типа преобразователя и способа регулирования скорости	29
2.3 Структурная схема силового канала электропривода	Ошибка! Закладка не опре
2.4 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода	Ошибка! Закладка не определена.
2.5 Расчет предельных характеристик разомкнутой системы преобразователь- двигатель. Проверка обеспечения заданной области работы электропривода	32
3. СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ РЭП.....	38
3.1 Структурная схема линеаризованной непрерывной САУ РЭП частотно- регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением.....	38
4. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	40
4.1 Математическая модель асинхронного двигателя	40
Допущения, принимаемые при создании имитационной модели АД	Ошибка! Заклад
5. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТУРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ	49
5.1 Оптимизация контура тока с инерционной обратной связью и ПИ- регулятором	49
5.2 Оптимизация контура потокосцепления с инерционной обратной связью.....	Ошибка! Закладка не определена.

5.3	Оптимизация контура скорости с инерционной обратной связью.....	57
5.3.1.	Оптимизация контура скорости с ПИ- регулятором.....	58
5.3.2.	Отработка контуром скорости возмущающих воздействий	Ошибка! Закладка
5.4.	Проверка правильности работы асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД.....	65
5.4.1.	Работа асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат с ориентацией по вектору потокосцеплений ротора	65
5.4.2.	Работа асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД в стационарной системе координат.....	66
6.	НЕЛИНЕЙНАЯ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	70
6.1	Структурная схема нелинейной САУ РЭП частотно- регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением	Ошибка! Закладка не опр
6.2	Исследование изменения величины перерегулирования замкнутого контура при подаче различных U_{zc}	73
7.	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.	77
7.1	Организация работ технического проекта	77
7.2	Определение трудоемкости выполнения технического проекта.....	80
7.3.	Определение сметы проекта	96
7.3.1.	Заработная плата исполнителей проекта	Ошибка! Закладка не определена.
7.3.2.	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	97
7.3.3.	Накладные расходы	97
7.4.	Расчет стоимости технических средств.....	98
7.5.	Определение ресурсоэффективности проекта.....	99
8	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	101
8.1	Характеристика помещения	101
8.2	Анализ опасных и вредных факторов.....	102
8.3	Техника безопасности	103
8.4	Производственная санитария	104

8.5 Расчет искусственного освещения.....	106
8.6 Пожарная безопасность.....	107
8.7 Охрана окружающей среды	111
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	112
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	113

ВВЕДЕНИЕ

Металлообработка является неотъемлемой частью во многих отраслях промышленности, машиностроения, строительства. С развитием экономики России потребность в качественных, профессиональных услугах по металлообработке возрастает год от года.

Отечественная промышленность до начала 90-х годов производила практически всю гамму металлообрабатывающих станков с разной степенью автоматизации – от универсальных до гибких производственных модулей, от серийных до специальных и агрегатных. Станки традиционно отличались высокой жесткостью, виброустойчивостью и точностью. По надежности в ряде случаев станки уступали зарубежным аналогам из-за невысокого качества ряда отечественных электро- и гидрокомпонентов.

С началом процесса интеграции России в мировую экономику проблема надежности отечественных станков решается использованием электроприводов, гидрооборудования и электронных компонентов, произведенных лучшими европейскими и мировыми фирмами, такими как *Siemens, Heidenhain, Fidia, Fanuc, Rexrot, Parker, Kabelschlepp, Telemecanique, Hennig, Balluff, Igus, TOS VARNSDORF* и др.

Автоматизация технологических процессов, повышая эффективность производства, увеличивает производительность оборудования, снижает эксплуатационные расходы, создаёт экономию электроэнергии, сырья, тем самым, обеспечивая экологическую чистоту и улучшение качества всего производства.

В различных отраслях народного хозяйства основными потребителями электроэнергии являются асинхронные электродвигатели. При этом большая часть – асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Большинство электроприводов с использованием короткозамкнутых АД являются нерегулируемыми. Это часто ведёт к необоснованному расходу

электроэнергии. Довольно эффективными и достаточно простыми являются системы частотного управления.

В настоящее время электропривод с двигателями переменного тока и полупроводниковыми преобразователями частоты занимает лидирующее положение среди других типов регулируемого привода. Интенсивному развитию этого направления способствуют значительные успехи в усовершенствовании традиционных и создании новых силовых полупроводниковых приборов и интегральных схем, развитии цифровых информационных технологий и разнообразных средств микропроцессорного управления.

Именно поэтому, большинство уже существующих технологических процессов технически и экономически целесообразно реализовывать, с использованием привода переменного тока.

Целью выпускной квалификационной работы является создание электропривода горизонтально-фрезерного станка на основе двигателя переменного тока.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Объект автоматизации

Общий вид горизонтально-фрезерного станка представлен на рисунке 1а.

Станок горизонтально-фрезерный 6М82 представляет собой оригинальные станки высокой точности и жесткости.

Станки предназначены для многооперационной обработки деталей сложной конфигурации из стали, чугуна, цветных и легких металлов, а также других материалов.

Техническая характеристика и высокая жесткость станка позволяют полностью использовать возможности как быстрорежущего, так и твердосплавного инструмента.

Универсальный горизонтально-фрезерный станок предназначен для фрезерования цилиндрических прямозубых, косозубых и червячных колес в условиях единичного и серийного производства. Нарезание зубчатых колес производится по способу обкатки червячной фрезы и обрабатываемой заготовки. Станок работает по замкнутому полуавтоматическому циклу и по циклу наладки.

Станок имеет неподвижный стол и подвижную стойку. Наличие в станке универсального фрезерного суппорта позволяет обрабатывать цилиндрические и червячные колеса методом радиального врезания и тангенциальной подачи. На базе станка могут изготавливаться спецстанки, позволяющие обрабатывать колеса с бочкообразной или конусной формой зубьев. Обработка осуществляется копированием по шаблону. На базе станка могут изготавливаться станки для обработки валков периодического профиля для прокатки арматуры на прокатных станах. Обработка осуществляется копированием по шаблону.

1.2 Технический процесс металлообработки

Общие основы металлообрабатывающих станков

Фрезерование. На фрезерных станках отрезают заготовки, фрезеруют плоские поверхности, пазы, уступы, криволинейные и винтовые поверхности, тела вращения, резьбы. Различают фрезерные станки с прерывистым циклом обработки (простые и универсальные, резьбофрезерные и др.), предусматривающие вспомогательный обратный ход или выключение подачи для снятия и закрепления заготовок, и станки с непрерывным циклом (с вращающимся столом, барабаном или конвейерного типа), на которых заготовки снимают и закрепляют во время рабочего хода.

Вибро- и износостойкость фрез повышает механическое крепление сменных многогранных пластин на рабочей части винтом.

Производительность фрезерования характеризует минутная подача.

На эффективность обработки кроме форсирования режимов резания влияет сокращение вспомогательного времени на управление станком, закрепление заготовки, смену и настройку инструмента. Высокопроизводительное фрезерование сопровождается значительными силами резания, резко колеблющимися по величине, поэтому следует уделять особое внимание жесткости технологической системы.

1.3 Горизонтально-фрезерный станок и его место в металлообработке

В данной работе был рассмотрен привод главного движения для горизонтально-фрезерного станка серии 6М82, предназначенного для выполнения всех видов фрезерных работ на деталях из черных и цветных металлов, и их сплавов и пластмасс в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производства. Особенности горизонтально-фрезерного станка 6М82:

- станина станка представляет собой коробчатую конструкцию с развитым ребрением, что позволяет ей погасить возникающие при работе станка статические и динамические деформации и придает ей требуемую жесткость системы СПИД;
- коробка скоростей с электромагнитной муфтой;
- отдельные приводы на все перемещения;
- удобное расположение элементов управления станка, простота настройки и работы;
- автоматическая подача и ускоренный ход по всем трем осям;
- поворот рабочего стола $\pm 45^\circ$;

Таблица 1 – Технические характеристики горизонтально-фрезерного станка 6М82

Описание	Ед. изм.	Параметры
Размер стола	мм	320*1320
Перемещения	мм	700*255*320
Мах нагрузка на стол	кг	500
Конус шпинделя	№	ISO 50
Кол-во передач		18
Скорость вращ шпинделя	об/мин	30-1500
Расстояние от шпиндельной оси до стола (min-max)	мм	30-350
Мощность двигателя	кВт	9
Габариты:	мм	2294
Длина		1770
Ширина		1665
Высота		
Вес	кг	2650

Внешний вид и кинематическая схема представлены на рис. 2 и 3.

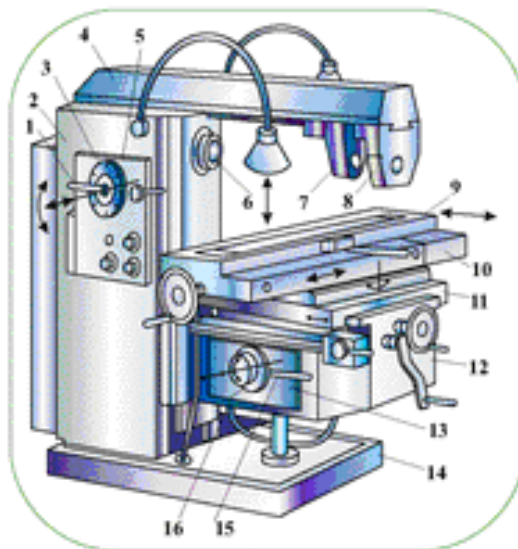


Рисунок 2 – Внешний вид горизонтально-фрезерного станка серии 6М82

- 1, 15 – рукоятка;
- 2 – станина;
- 3, 16 – лимб;
- 4 – хобот;
- 5 – коробка скоростей;
- 6 – шпиндель;
- 7,8 – подвески;
- 9 – стол;
- 10 – плита;
- 11 – салазки;
- 12 – консоль;
- 13 – коробка подач;
- 14 – фундаментная плиток;

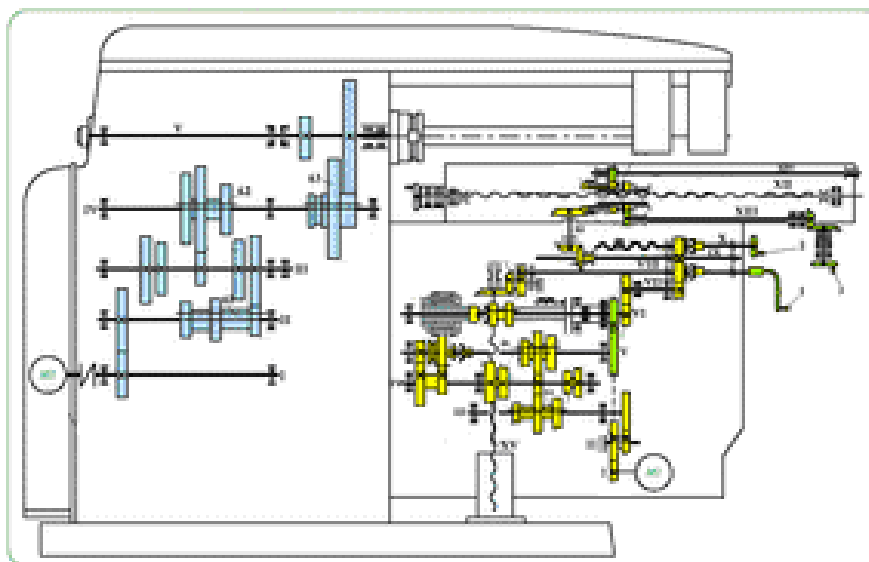


Рисунок 3 – Кинематическая схема горизонтально-фрезерного станка серии 6М82

Станок горизонтально-фрезерный серии 6М82 представляет собой оригинальные станки высокой точности и жесткости. Техническая характеристика и высокая жесткость станка позволяют полностью использовать возможности как быстрорежущего, так и твердосплавного инструмента. Станки автоматизированы и могут быть настроены на различные автоматические циклы, что повышает производительность труда, исключает необходимость обслуживания станков рабочими высокой квалификации и облегчает возможность организации многостаночного обслуживания.

Электрооборудование.

Электрооборудование станка предназначено для питания от сети трехфазного тока напряжением 380 В частотой 50 Гц. По особому заказу оно может быть выполнено и на другие стандартные напряжения: 220 или 550 В, а также частоту сети 60 Гц.

В электрической схеме станка предусмотрены: питание цепи управления от сети напряжением 127 В, питание цепи местного освещения от сети напряжением 36 В, нулевая защита всех электродвигателей, а также защита от коротких замыканий плавкими предохранителями и от перегрузок при помощи тепловых реле.

Для подключения электрооборудования к сети и его отключения имеется вводный выключатель, рукоятка которого расположена на дверке левой ниши.

Управление электродвигателем шпинделя – кнопочное. Выбор направления вращения шпинделя производится реверсивным переключателем, который устанавливает нужное вращение двигателя шпинделя.

Управление электродвигателем подачи производится от двух командоаппаратов.

Командоаппарат продольной подачи состоит из двух конечных выключателей: для включения правого и левого хода стола.

Командоаппарат поперечной и вертикальной подачи также состоит из двух конечных выключателей. Конечная рукоятка командоаппарата имеет пять положений: назад, вниз, вперед, вверх и среднее нейтральное.

1.4 Требования к электроприводу горизонтально-фрезерного станка 6М82

Электропривод обеспечивает работу в четырех квадрантах.

Управляющее постоянное напряжение меняется от -10 до 10 В.

Амплитуда пульсаций не более 2%.

Входное сопротивление для управляющего напряжения 4.74 кОм.

Диапазон регулирования частоты вращения электродвигателя от 45 до 4500 мин^{-1} .

Время восстановления номинальной частоты вращения при ступенчатом приложении нагрузки от холостого хода до 11 кВт не более 1 с.

В системе автоматического регулирования частоты вращения длительный момент и мощность составляют 75% допустимого значения.

Полоса пропускания замкнутого по скорости электропривода при частоте вращения 1000 мин^{-1} при отсутствии дополнительного момента инерции не менее 20 Гц.

При нагрузке, превышающей максимальный момент M_{\max} для приводов подачи или номинальный момент M_H – для главного привода, электропривод отключается за время не более 1.0 с.

При отключении питающей сети электроприводы тормозятся с максимальным темпом до полной остановки двигателей.

Электропривод имеет систему контроля перегрева электродвигателей. Длина кабелей связи, соединяющих части электропривода с оборудованием станка и между собой, должна быть не более 30 м.

1.5 Обоснование выбора типа электропривода

Развитие регулируемого электропривода в настоящее время, прежде всего, связано с приводом переменного тока. При этом можно выделить две существующие тенденции: внедрение регулируемого привода переменного тока в те области, где он раньше не использовался, и вытеснение приводами переменного тока приводов постоянного тока из их традиционной технологической ниши.

Внедрение регулируемого привода переменного тока в те области, где он раньше не использовался, связано с асинхронным двигателем, самым массовым, дешевым и надежным. И если раньше этот двигатель рассматривался как неуправляемый по скорости, то теперь сотни фирм в различных частях света производят преобразователи частоты для управления обычными общепромышленными асинхронными двигателями. Общепромышленные приводы используют обычные двигатели и обеспечивают регулирование частоты, как в большую, так и в меньшую

сторону от номинального значения. Лучшие системы, использующие алгоритмы векторного управления с датчиком скорости или положения, позволяют регулировать скорость с удовлетворительным качеством примерно в диапазоне 1:1000. Гиганты мировой электротехники, такие как Siemens, ABB, MITSUBISHI и другие разрабатывают преобразователи частоты со всё новыми и новыми функциями, обеспечивающими применение преобразователей для решения практически любых задач.

До недавнего времени следящие системы регулирования скорости или положения строились на основе электроприводов постоянного тока. Данные системы часто требуют точного регулирования скорости и положения. Диапазоны регулирования по скорости таких систем обычно превышает 5000, а точность позиционирования может составлять доли микрона или угловые секунды. Развитие теории управления двигателями переменного тока и технологии производства электронных комплектующих сделало возможным проектирование и производство электроприводов переменного тока (синхронных и асинхронных), которые по своим точностным и динамическим характеристикам не уступают приводам постоянного тока, а по эксплуатационным характеристикам превосходят их. Это - так называемые, сервоприводы переменного тока. И если общепромышленные приводы сейчас могут выпускаться многими в силу общеизвестности способов их реализации, то сервоприводы - вопрос более тонкий, требующий существенно больших знаний и опыта.

Асинхронный двигатель не имеет аналогов по простоте и надежности. Его достоинствами являются: массовость, дешевизна и надежность; он может работать там, где другие двигатели работать просто не могут, в запыленной, взрывоопасной и агрессивной среде, в вакууме и под водой.

Таким образом, для управления приёмным устройством был выбран электропривод переменного тока на базе преобразователя частоты.

1.6 Функциональная схема

Известно, что в векторных системах управление наиболее просто реализуется с регуляторами во вращающейся системе координат. Однако такая реализация требует введения дополнительных блоков преобразования координат из вращающейся системы x, y в неподвижную a, b (прямое преобразование) и наоборот из неподвижной a, b во вращающуюся x, y (обратное преобразование). Функциональная схема векторной системы управления АД с косвенной ориентацией по полю с регуляторами, выполненными во вращающейся системе координат, представлена на рисунке 3.

На функциональной схеме приняты следующие обозначения:

- М – асинхронный двигатель;
- АИН – автономный инвертор напряжения;
- Ф – фильтр подавления помех. Подавляет возмущения и пульсации входных сигналов, т.е. сглаживает аналоговые входы путём усреднения в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2

Значение параметра уставки	Функция (количество значений, по которым производится усреднение)	Время корректировки
0	Без усреднения	128 мкс
1	2	256 мкс
2	4	512 мкс
3	8	1 мс
4	16	2 мс
5	32	4 мс
6	64	8 мс
7	128	16 мс
8	256	32 мс
9	512	64 мс
10	1024	128 мс

- АЦП – аналого-цифровой преобразователь (два 10-ти разрядных преобразователя, время преобразования 10 мкс) ;
- ВQ – импульсный датчик положения;
- БРС – блок расчёта скорости. Время обчёта сигнала датчика (0,5-16 мкс) при использовании импульсного датчика положения на 2500 импульсов устанавливается в соответствии с таблицей 3.
- БРСК – расчётный блок. Вычисляет значение скорости вращения вектора потокосцепления ω_K при косвенной ориентации по полю

$$\omega_K = \omega \cdot z_p + \beta = \omega \cdot z_p + \frac{I_{1y}}{I_{1x}} \cdot \frac{R_2}{L_2};$$

Таблица 3

Значение параметра	Период дискретизации, мс	Разрешающая способность по скорости, об/мин
0	0,5	12
1	1	6
2	2	3
3	4	1,5
4	8	0,75
5	16	0,375

- БРП – блок расчёта потокосцепления Ψ_{2x} ;
- БУП – блок углового преобразования. Вычисляет угловое положение вектора потокосцепления

$$\theta = \int_0^t \omega_K \cdot dt, \text{ где } \omega_K - \text{ скорость вращения вектора потокосцепления};$$

- БК – блок компенсации ЭДС двигателя;
- БРЗП – блок расчёта задания магнитного потока. Формирует $U_{3\psi}$ в зависимости от величины заданной скорости;
- РС – регулятор скорости (ПИ-регулятор);
- РΨ – регулятор потокосцепления;
- РТ_х – регулятор тока в контуре намагничивания (ПИ-регулятор);
- РТ_у – регулятор тока (ПИ-регулятор)

Также в схеме предусмотрены блоки, осуществляющие координатные преобразования:

– А,В,С-а,б – преобразователь координат. Формирует составляющие токи статора I_{1a} , I_{1b} эквивалентной двухфазной машины в неподвижной системе координат а,б:

$$I_{1a} = I_{1A}; I_{1b} = \frac{I_{1B} - I_{1C}}{\sqrt{3}}; \text{ где } I_{1B} = -I_{1A} - I_{1C};$$

– а,б-х,у – преобразователь координат, осуществляющий обратное преобразование токов I_{1a} , I_{1b} неподвижной системы координат а,б в вращающуюся х, у:

$$I_{1x} = I_{1a} \cdot \cos \theta + I_{1b} \cdot \sin \theta;$$

$$I_{1y} = -I_{1a} \cdot \sin \theta + I_{1b} \cdot \cos \theta.$$

Эти сигналы являются сигналами обратных связей регуляторов тока РТ_х и РТ_у.

– х,у-а,б – преобразователь координат, осуществляющий прямое преобразование координат:

$$U_{ya} = U_{yx} \cdot \cos \theta - U_{yy} \cdot \sin \theta;$$

$$U_{yb} = U_{yx} \cdot \sin \theta + U_{yy} \cdot \cos \theta.$$

– a,b-A,B,C – преобразователь координат, формирующий напряжения управления:

$$U_{yA} = U_{ya}; U_{yB} = -\frac{U_{ya}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot U_{yb}; U_{yC} = -\frac{U_{ya}}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot U_{yb}.$$

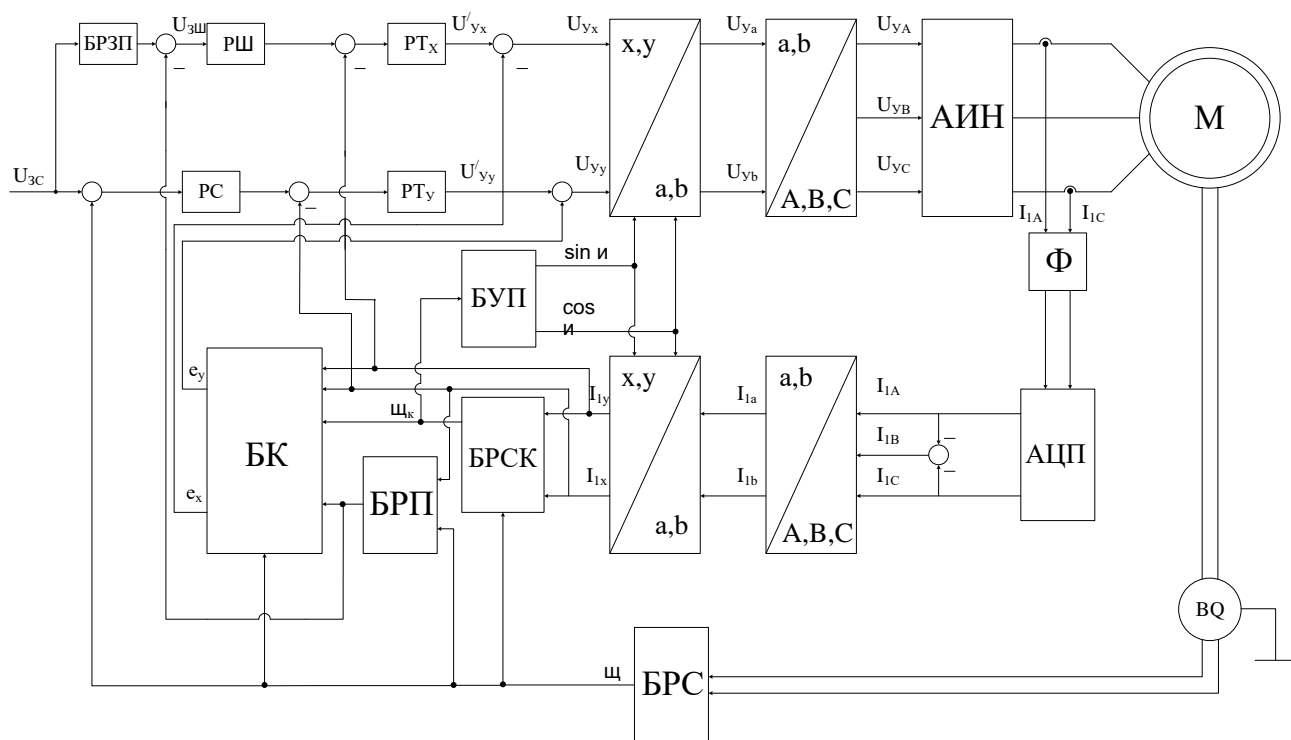


Рисунок 4 – Функциональная схема РЭП

2 ПРОЕКТНО-РАСЧЁТНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Выбор и проверка асинхронного двигателя

в пуско- тормозных режимах $M_{ЭПМАКС} = 240,8, Н \cdot м$.

1.Электродвигатель выбираем общепромышленного (общего) назначения серии 4А, согласно [7].

2.Номинальная скорость электродвигателя выбирается исходя из условия

- $\omega_{ДВНОМ} > \omega_{ЭПМАКС} ,$

3.Мощность электродвигателя выбирается в соответствии с зависимостями допустимого и кратковременного момента и допустимой следующим условием $P_{ДВНОМ} \geq P_{ДВПОТР} :$

Требуемая мощность двигателя

- в зоне работы с постоянным потоком ($W \leq W_{ДВ.Н}$)

$$P_{ТРЕБ} = \frac{M_{СМАКС} \cdot \omega_{ДВ.Н}}{0,5 + \frac{\omega_{ЭП.МИН}}{\omega_{ДВ.Н}}} \cdot 10^{-3} = \frac{59,6 \cdot 135,7}{0,5 + \frac{6,78}{135,7}} \cdot 10^{-3} = 14,7 кВт;$$

,параметры схемы замещения - в таблице 5.

Таблица 4 – Технические данные электродвигателя.

типоразмер	$n_0, \left[\frac{об}{мин} \right]$	$U_{лн}, [В]$	$P_{дв.н}, [Вт]$	При номинальной нагрузки			S_K	$J_{об}, [кг \cdot м^2]$
				S_H	$\cos \varphi$	η_H		
4А160М4УЗ	1500	380	$18,5 \cdot 10^3$	2,2	0,88	89,5	0,16	0,13

Продолжение таблицы 4

$k_{II} = \frac{M_{ПУСК}}{M_H}$	$k_M = \frac{M_{МАКС}}{M_H}$	$k_{\psi ДВ} = \frac{I_{ПУСК}}{I_H}$	Степень защиты
---------------------------------	------------------------------	--------------------------------------	----------------

1,4	2,3	7,0	IP44

Таблица – 5 Параметры схемы замещения электродвигателя

$R_1', o.e$	$X_1', o.e$	$X_\mu', o.e$	$R_2'', o.e$	$X_2'', o.e$
0,042	0,085	4,3	0,024	0,13

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.14 \cdot 1500}{30} = 157.08, \text{ рад} / \text{с}$$

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - S_H) \cdot n_0 = (1 - 0,022) \cdot 1500 = 1467, \text{ об} / \text{мин}$$

или

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - S_H) \cdot \omega_0 = (1 - 0,022) \cdot 157,08 = 153,6, \text{ рад} / \text{с}.$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{18,5 \cdot 10^3}{153,6} = 120,4, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный ток статора. Для определения номинального фазного тока, согласно [1], необходимо знать схему соединения обмоток статора.

$$U_{1\phi\text{н}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219.393, \text{ В}.$$

$$I_{1\phi\text{н}} = I_{1\text{лн}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\phi\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{18,5 \cdot 10^3}{3 \cdot 219,393 \cdot 0,88 \cdot 0,895} = 35,688, \text{ А}.$$

Примечание:1. $I_{1\text{лн}}$ -

$$I_{1\text{макс}} = k_{\text{дв}} \cdot I_{1\text{лн}} = 7 \cdot 35,688 = 249,816, \text{ А}.$$

$$M_{\text{к}} = k_{\text{м}} \cdot M_{\text{двн}} = 2,3 \cdot 120,4 = 276,92, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{двпуск}} = k_{\text{п}} \cdot M_{\text{двн}} = 1,4 \cdot 120,4 = 168,56, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

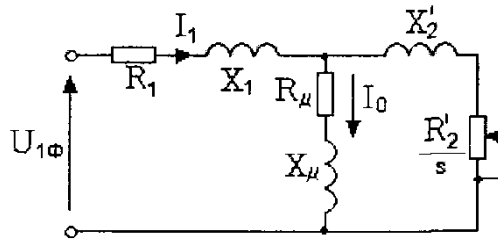


Рисунок 5

$$R_1 = R_1' \cdot \frac{U_{1\Phi H}}{I_{1\Phi H}} = 0,042 \cdot \frac{219,393}{35,688} = 0,258, \text{ Ом.}$$

$$X_{1\delta} = X_1' \cdot \frac{U_{1\Phi H}}{I_{1\Phi H}} = 0,085 \cdot \frac{219,393}{35,688} = 0,523, \text{ Ом.}$$

$$L_{1\delta} = \frac{X_{1\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,523}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 1,665 \cdot 10^{-3}, \text{ Гн.}$$

$$R_2' = R_2'' \cdot \frac{U_{1\Phi H}}{I_{1\Phi H}} = 0,024 \cdot \frac{219,393}{35,688} = 0,148, \text{ Ом.}$$

$$X_{2\delta}' = X_2'' \cdot \frac{U_{1\Phi H}}{I_{1\Phi H}} = 0,13 \cdot \frac{219,393}{35,688} = 0,799, \text{ Ом.}$$

$$L_{2\delta}' = \frac{X_{2\delta}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,799}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 2,543 \cdot 10^{-3}, \text{ Гн.}$$

$$X_{KH} = X_{1\delta} + X_{2\delta}' = 0,523 + 0,799 = 1,322, \text{ Ом.}$$

$$X_\mu' = X_\mu'' \cdot \frac{U_{1\Phi H}}{I_{1\Phi H}} = 4,3 \cdot \frac{219,393}{35,688} = 26,434, \text{ Ом.}$$

$$L_\mu = \frac{X_\mu'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{26,434}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,084, \text{ Гн.}$$

Ток холостого хода

$$I_0 = \frac{E_1}{X_\mu'} = \frac{220,532}{26,434} = 8,343, \text{ А.}$$

Где

E_1 - ЭДС.

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1\Phi H} \cdot \cos \varphi_H - I_{1\Phi H} \cdot R_1)^2 + (U_{1\Phi H} \cdot \sin \varphi_H + I_{1\Phi H} \cdot X_{1\delta})^2} = \\ &= \sqrt{(219,393 \cdot 0,88 - 35,688 \cdot 0,258)^2 + (219,393 \cdot 0,47 + 35,688 \cdot 0,523)^2} = 220,532, \text{ В} \end{aligned}$$

2.2 Выбор типа преобразователя и способа регулирования скорости

- 3 фазы;
- Требуемое максимальное выходное напряжение 380В;
- Требуемая максимальная выходная частота инвертора

$$f_{ИМАКС} = 50 \cdot \frac{\omega_{ЭПМАКС}}{\omega_0(1-S_K)} = 50 \cdot \frac{135,7}{157,08(1-0,16)} = 51,4, Гц.$$

- Требуемая минимальная выходная частота инвертора

$$f_{ИМИН} = 50 \cdot \frac{\omega_{ЭПМИН}}{\omega_0} = 50 \cdot \frac{6,78}{157,08} = 2,158, Гц.$$

3.

$$I_{ИН} \geq I_{1ЛН} \cdot \frac{M_{СМАКС}}{M_{ДВН}} \geq 35,688 \cdot \frac{59,6}{120,4} = 17,666, А,$$

$$I_{ИМАКС} \geq I_{1ЛН} \cdot \frac{M_{ЭПМАКС}}{M_{ДВН}} \geq 35,688 \cdot \frac{240,8}{120,4} = 71,376, А;$$

Таблица 7– Способы управления в системе ПЧ-АД

№	Способ управления	Диапазон регулирования скорости	
		разомкнутая система	Замкнутая система с датчиком скорости
1	Скалярное управление, закон управления $U_1 / f_1 = const$	до 10	до 100
2	Скалярное управление, закон управления $U_1 / f_1 = const$; компенсация момента и скольжения	10-15	100-120
3	Векторное управление	до 100 (с внутренней моделью)	до 1000

Принимаю способ управления – векторное управление без датчика скорости, диапазон регулирования 20.

Таблица 8 – Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение U_H %	Выходная частота $f, Гц$	Выходной ток		Рекомендуемая мощность $P_2, Вт$
	$U_{лн}, В$	$f_c, Гц$			$I_{VLT.н}, А$	$I_{VLT.макс}, А$	
VLT504 2 Danffos	380	50	(0-100)	(0-132)	61	97,6	$30 \cdot 10^3$

Имеем несущую частоту инвертора $f_H = 8 кГц$

. Входными величинами структурной схемы является структурная схема рисунка 6

В структурной схеме рисунка 6 присутствуют внутренние обратные связи, в том числе нелинейные перекрестные.

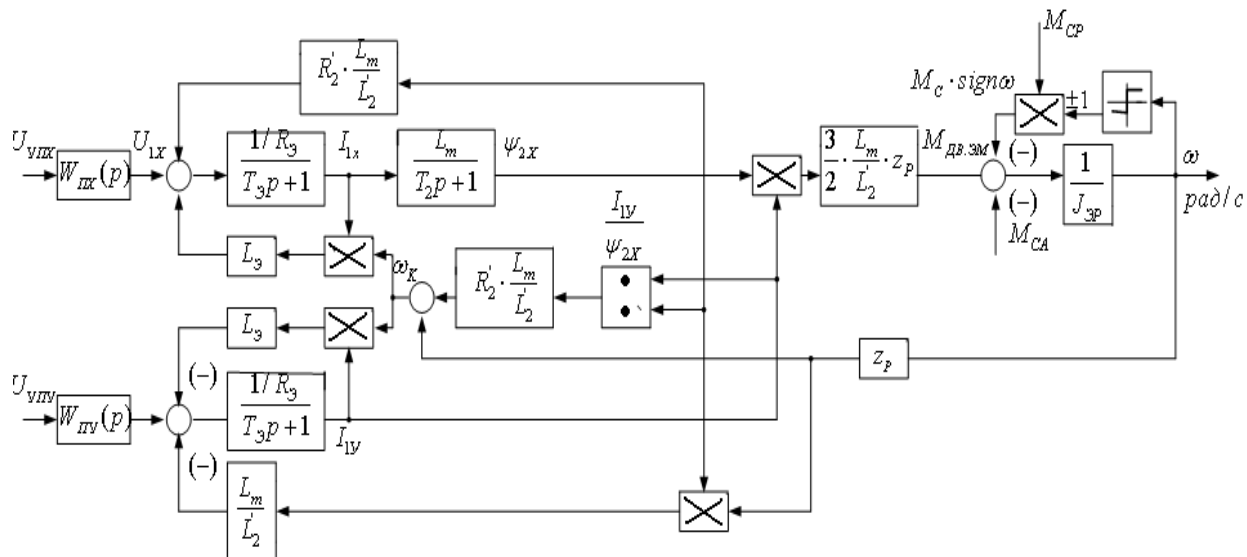


Рисунок 6

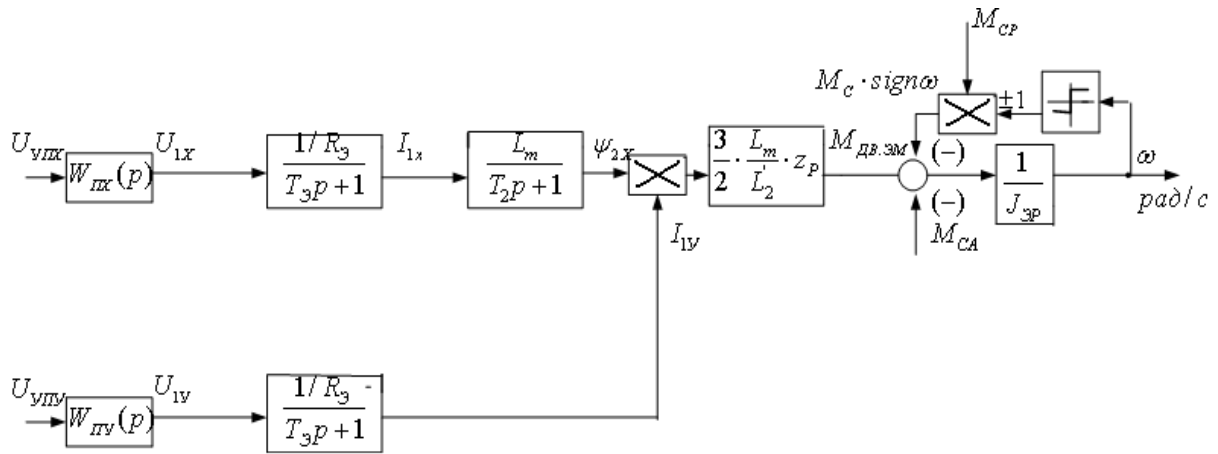


Рисунок 7

Расчет параметров преобразователя

$$k_H = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\phi}}{U_{\text{УПМАКС}}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,113,$$

Где $U_{\text{УПМАКС}} = 10 \text{ В}$,

$$T_H = \frac{0,5}{f_H} = \frac{0,5}{8 \cdot 10^3} = 6,25 \cdot 10^{-5}, \text{ с}$$

Расчет параметров АД

Эквивалентная индуктивность обмоток

- статора

$$L_1 = L_{1\delta} + L_{\mu} = 0,001665 + 0,084 = 0,086, \text{ Гн}$$

- ротора

$$L_2' = L_{2\delta}' + L_{\mu} = 0,002543 + 0,084 = 0,087, \text{ Гн}$$

Коэффициент рассеяния

$$\delta = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 + L_2'} = 1 - \frac{0,084^2}{0,086 + 0,087} = 0,959$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_3 = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_{\mu}^2}{L_2'^2} = 0,258 + 0,148 \cdot \frac{0,084^2}{0,087^2} = 0,396, \text{ Ом}$$

$$T_9 = \frac{\delta \cdot L_1}{R_9} = \frac{0,959 \cdot 0,086}{0,396} = 0,208, c,$$

$$T_2 = \frac{L_2'}{R_2'} = \frac{0,087}{0,148} = 0,588, c.$$

Расчет параметров мех-ой системы

Момент инерции механизма

$$J_M = 0,24, кг \cdot м^2.$$

Эквивалентный момент инерции привода

$$J_9 = J_{дв} + J_M = 0,13 + 0,24 = 0,37, кг \cdot м^2.$$

2.5 преобразователь- двигатель. Проверка обеспечения заданной области работы электропривода

$\psi_{2X} = \psi_{2XH} = const$, а во второй зоне ослабляется в соответствии с

зависимостью $\psi_{2X} = \psi_{2XH} \cdot \frac{\omega}{\omega_H}$.

$M = f(S)$ системы преобразователь частоты- асинхронный двигатель, согласно [3], $f_H = f_{1H} = 50 Гц$ по выражению

$$M(S) = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S \cdot \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_\mu} \right)^2 \right]}$$

Задаемся скольжением в пределах $S = 0.01, 0.02, \dots, 1$ и рассчитываем характеристику $M=f(S)$, которая показана на рисунке 8.

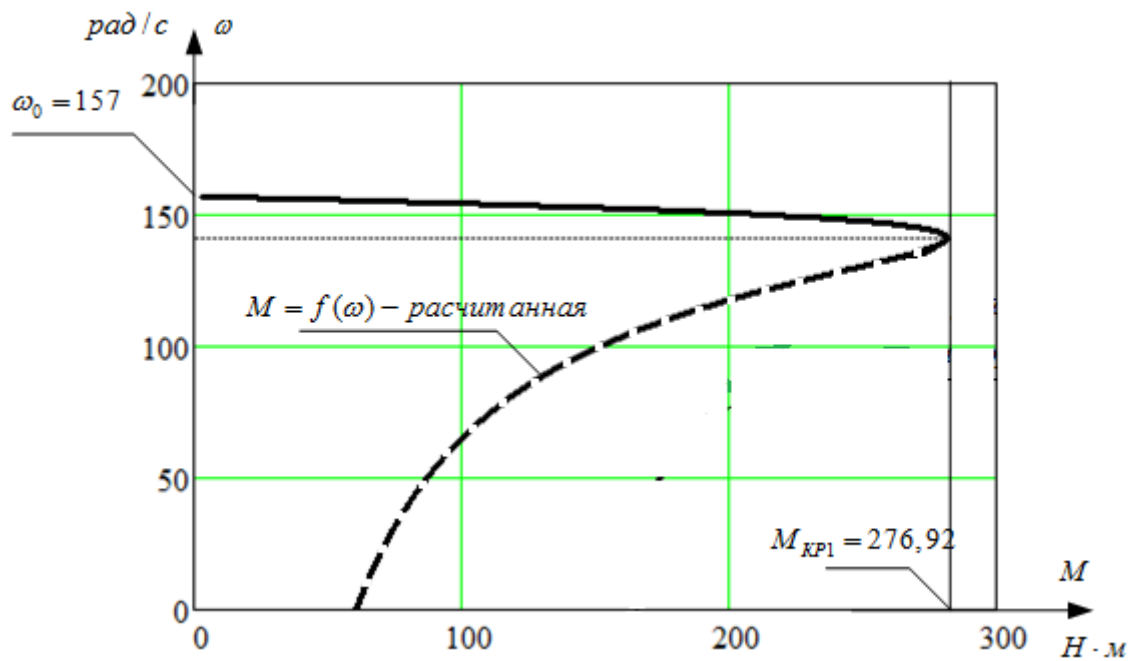


Рисунок 8

Где $w = w_0 \cdot (1 - S)$

$$I_1(S) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(S) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(S) \cdot \sin \varphi_2(S)};$$

Где

$$I_2'(S) = \frac{U_{1\Phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{S})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_\mu})^2}};$$

$$\sin \varphi_2(S) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{S})^2 + (X_{KH})^2}};$$

По результатам расчета строится электромеханическая характеристика $W(I_1)$ рис. 9.

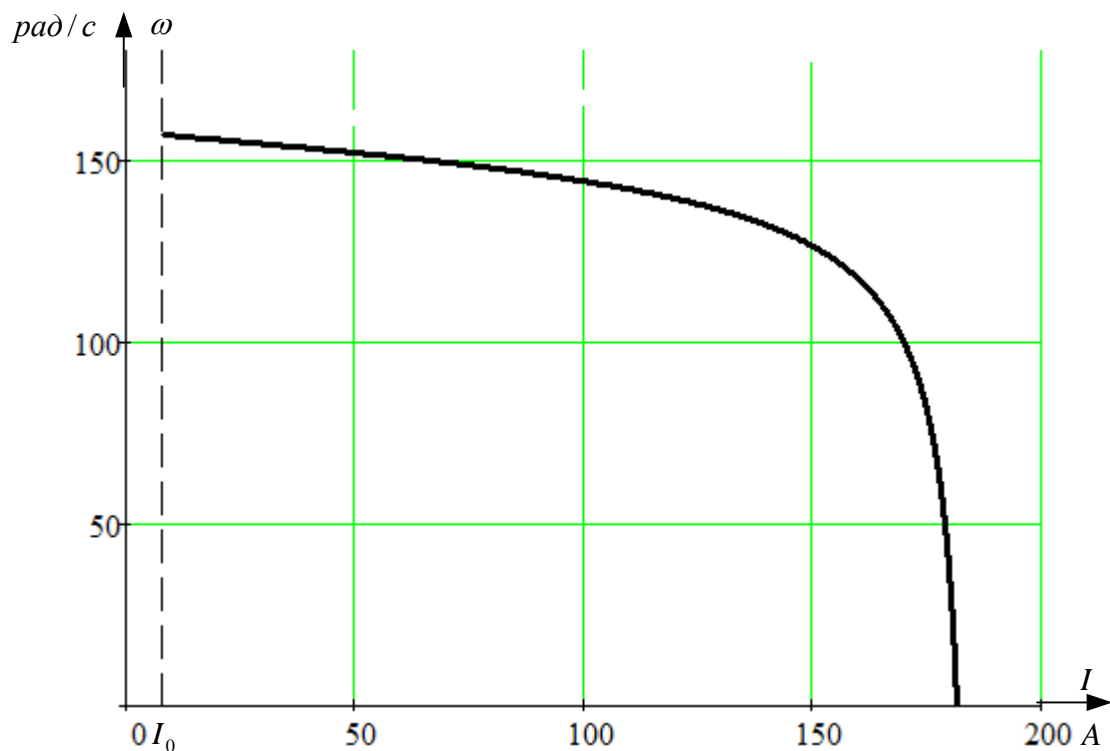


Рисунок 9

Определение заданной области работы

1. На полученное семейство механических характеристик $M(\omega)$ (рис 8) наносятся граничные характеристики для длительного и кратковременного режимов работы

$$-M_{\text{смин}}(\omega) = -5,73;$$

$$-M_{\text{смакс}}(\omega) = -59,6;$$

$$-M_{\text{элмакс}}(\omega) = -240,8.$$

2. На полученное семейство электромеханических характеристик $I_1(\omega)$ (рис 9) наносится характеристика длительно допустимого тока двигателя $I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega)$:

$$I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) = I_{\text{двн}} \cdot \left(0,5 + \frac{\omega}{\omega_{\text{двн}}}\right) = 35,688 \cdot \left(0,5 + \frac{76,8}{153,6}\right) \quad \text{при } \omega \leq 0,5 \cdot \omega_{\text{двн}}; \quad \omega = 76,8;$$

$$I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) = I_{\text{двн}} = 35,688 \quad \text{при } \omega < 0,5 \cdot \omega_{\text{двн}}; \quad \omega = 76,8$$

3. Рассчитывается и строится зависимость допустимого длительного момента электродвигателя $M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega)$

- в зоне работы с номинальным потоком при $f_H \leq f_{1H}, \omega \leq (\omega_0 \cdot (1 - S_K))$;

$$M_{ДВМАКС}(W) = M_K \Big|_{f_H=f_{1H}} = 287,973,$$

Где

$$M_K = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left\{ R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{KH}^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{R_2'}{X_\mu} \right)^2 \right]} \right\}} = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157,08 \left\{ 0,258 + \sqrt{(0,258^2 + 1,322^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{0,148}{26,434} \right)^2 \right]} \right\}} = 287,973 H \cdot м,$$

- в зоне работы с ослабленным потоком при $f_H > f_{1H}, (W > W_0 \cdot (1 - S_K))$

$$M_{ДВМАКС}(\omega) = M_K \cdot \frac{\omega_0 \cdot (1 - S_K)}{\omega}$$

4. Рассчитывается и строится зависимость допустимого длительного тока электродвигателя $I_{ДВ.ДЛИТ.ДОП}(\omega)$

- в зоне работы с номинальным потоком ($f_H \leq f_{1H}$)

$$I_{ДВ.ДЛИТ.ДОП}(\omega) = M_{ДВН} \cdot \left(0,5 + \frac{\omega}{\omega_{ДВН}} \right) \text{ при } \omega \leq 0,5 \cdot \omega_{ДВН};$$

$$I_{ДВ.ДЛИТ.ДОП}(\omega) = I_{ДВН} \text{ при } 0,5 \cdot \omega_{ДВН} < \omega \leq \omega_{ДВН}.$$

- в зоне работы с ослабленным потоком $f_H > f_{1H}$ с учетом того, что двигатель выбран с запасом по мощности принимаем

$$I_{ДВ.ДЛИТ.ДОП}(\omega) = I_{ДВН}, \text{ при } \omega > \omega_{ДВН}.$$

5. Рассчитывается и строится зависимость $I_{СМАКС}(\omega)$, соответствующая длительной максимальной нагрузке $M_{СМАКС}(\omega) = const$. Для этого необходимо определить соответствующее $M_{СМАКС}$ значение скольжения S_{T5} , решив относительно S уравнение

$$\frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S \cdot \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} = M_{СМАКС} \text{ и далее рассчитать значение}$$

тока $I_{СМАКС} \Big|_{f_H=f_{1H}}$ и скорости ($\omega_{T5} = \omega_0 \cdot (1 - S_{T5})$).

Зависимость $I_{CMAKC}(\omega)$ рассчитывается по выражениям:

$$I_{CMAKC}(\omega) = I_{CMAKC} \Big|_{f_H=f_{1H}} \text{ при } \omega \leq \omega_{T5}$$

$$I_{CMAKC}(\omega) = I_{CMAKC} \Big|_{f_H=f_{1H}} \cdot \frac{\omega}{\omega_{T5}} \text{ при } \omega > \omega_{T5}.$$

6. Рассчитывается и строится зависимость $I_{ЭПМАКС}(\omega)$, соответствующая длительной максимальной нагрузке $M_{ЭПМАКС}(\omega) = const$. Для этого необходимо определить соответствующее $M_{ЭПМАКС}(\omega)$ значение скольжения $S_{T.14}$ решив относительно S уравнение

$$\frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S \cdot \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} = M_{ЭПМАКС},$$

И далее рассчитать значение тока $I_{ЭПМАКС} \Big|_{f_H=f_{1H}}$, и скорости $(\omega_{T14} = \omega_0 \cdot (1 - S_{T.14}))$

$$I_{ЭПМАКС}(\omega) = I_{ЭПМАКС} \Big|_{f_H=f_{1H}} \text{ при } \omega \leq \omega_{T14}$$

$$I_{ЭПМАКС}(\omega) = I_{ЭПМАКС} \Big|_{f_H=f_{1H}} \cdot \frac{\omega}{\omega_{T5}} \text{ при } \omega > \omega_{T14}.$$

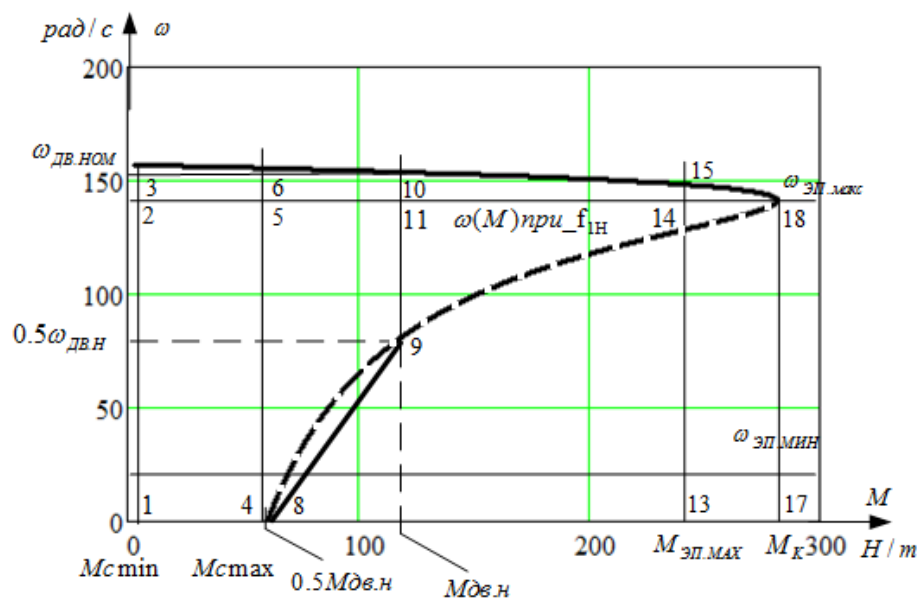


Рисунок 10а – Механическая характеристика электропривода и нагрузки при векторном управлении

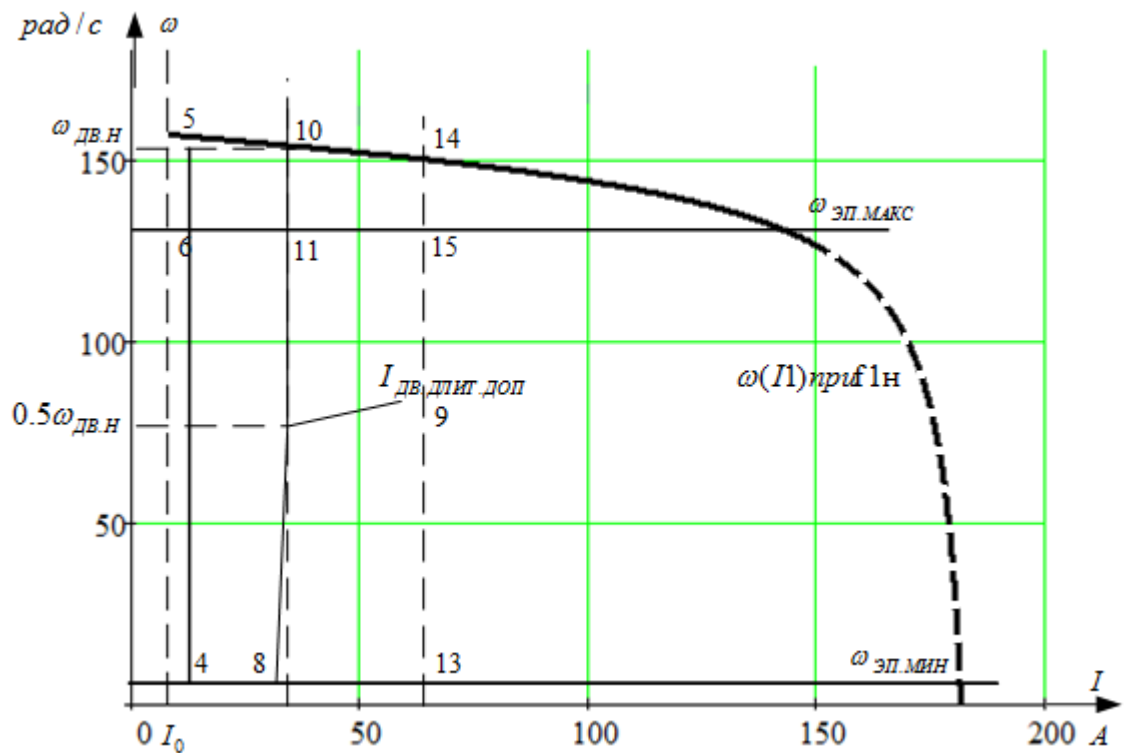


Рисунок 10б – Электромеханическая характеристика электропривода и нагрузки при векторном управлении

Проверка правильности выбора двигателя

По результатам построения механических характеристик электропривода $W(I_1)$ (Рис.10а) проверяется правильность выбора двигателя по моменту

$$\begin{aligned} M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) &\geq M_{\text{смакс}} & 120,4 &\geq 59,6 \\ M_{\text{двмакс}}(\omega) &\geq M_{\text{эпмакс}} & 287,973 &\geq 240,8 \end{aligned} \quad \text{имеем}$$

Следовательно двигатель по моменту выбран правильно.

По результатам построения электромеханических характеристик электропривода $\omega(M)$ (Рис.10б) проверяется правильность выбора двигателя по току

$$I_{\text{дв.длит.доп.}}(\omega) \geq I_{\text{смакс}} \quad \text{имеем} \quad 35,688 \geq 12,065$$

Следовательно двигатель по току выбран правильно.

$$\begin{array}{ll} I_{\text{СМАКС}}(\omega) \leq I_{\text{ИН}} & \text{имеем} \quad 12,065 \leq 17,666 \\ I_{\text{ЭПМАКС}}(\omega) \leq I_{\text{ИМАКС}} & 63,207 \leq 71,376 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} M_{T.11} > M_{T.6} \\ M_{T.19} > M_{T.15} \\ I_{T.11} > I_{T.6} \end{array} \right\} \text{-все условия выполняются, т.к.} \left. \begin{array}{l} 120,4 > 59,6 \\ 287,973 > 240,8 \\ 35,688 > 12,065 \end{array} \right\}$$

- в нижней части диапазона регулирования скорости

$$\left. \begin{array}{l} M_{T.8} \geq M_{T.6} \\ M_{T.17} \geq M_{T.13} \\ I_{T.8} \geq I_{T.4} \end{array} \right\} \text{-условия по моменту выполняются, т.к.} \left. \begin{array}{l} 60,2 \geq 59,6 \\ 287,973 \geq 240,8 \\ 31,6 \geq 12,065 \end{array} \right\}$$

2. Условия проверки преобразователя по току:

$$I_{\text{ИН}} \geq I_{T.6}; \quad I_{\text{ИМАКС}} \geq I_{T.15};$$

Общие выводы по анализу полученных характеристик рис.7:

- система преобразователь частоты- асинхронный двигатель может обеспечить длительную

работу в интервале изменения момента нагрузки от $M_{\text{СМИН}} = 5,73 \text{ Н} \cdot \text{м}$ до $M_{\text{СМАКС}} = 59,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$ и заданный кратковременный момент $M_{\text{ЭПМАКС}} = 240,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$ во всем диапазоне регулирования скорости от $\omega_{\text{ЭПМИН}} = 6,78 \text{ рад/с}$ до $\omega_{\text{ЭПМАКС}} = 135,7 \text{ рад/с}$;

- для обеспечения заданного диапазона регулирования скорости электропривод должен быть однозонный;

Для дальнейших расчетов принимаем $I_{\text{ЭПМАКС}} = I_{T.15} = 63,207 \text{ А}$.

3. СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ РЭП

3.1 Структурная схема линеаризованной непрерывной САУ РЭП частотно- регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением



$W(p)_{PT}, W(p)_{P\psi}, W(p)_{PC}$ -передаточные функции регуляторов тока, потокосцепления и скорости;

$$k_{TX} = k_{TY} = \frac{U_{3TMAX}}{I_{ЭПМАКС}} = \frac{10}{63,207} = 0,158 B / A \text{ -коэффициент обратной связи по току}$$

$$k_{\psi} = \frac{U_{3\psi \text{ МАКС}}}{\psi_{2X}} = \frac{10}{0,824} = 12,136 \text{ В / Вб -коэффициент}$$

обратной связи по
потокосцеплению ротора;

$$\psi_{2X} = \psi_H = \frac{M_{\text{ЭИИ}}}{\frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot \frac{L_m}{L_s} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1H}^2 \cdot I_0^2}} = \frac{120,4}{\frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{0,084}{0,087} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{35,688^2 \cdot 0,163^2}} = 0,824; \text{Вб}.$$
$$k_c = \frac{U_{3CMAKC}}{\omega_{3CMAKC}} = \frac{10}{135,7} = 0,074 B \cdot c / pad;$$

Период сглаживания результатов измерения тока

$$T_{\mu T0} = \frac{1}{f_{\mu}} \cdot \frac{n_T}{3} = \frac{1}{8 \cdot 10^3} \cdot \frac{8}{3} = 0,00033c;$$

39

Период расчета потокоцепления

Имеем $n_\psi > 3$;

$$T_{\mu\psi 0} = \left(16 \cdot \frac{1}{f_H}\right) \cdot \frac{n_\psi}{3} = \left(16 \cdot \frac{1}{8 \cdot 10^3}\right) \cdot \frac{4}{3} = 0,0027 \text{ с};$$

Период расчета скорости

Имеем $n_c \geq 3$;

$$T_{\mu c 0} = \left(16 \cdot \frac{1}{f_H}\right) \cdot \frac{n_c}{3} = \left(16 \cdot \frac{1}{8 \cdot 10^3}\right) \cdot \frac{3}{3} = 0,002 \text{ с};$$

4. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

4.1 Математическая модель асинхронного двигателя

для статора

$$\begin{cases} U_{SA} = R_{SA} I_{SA} + \frac{d\Psi_{SA}}{dt} \\ U_{SB} = R_{SB} I_{SB} + \frac{d\Psi_{SB}}{dt} \\ U_{SC} = R_{SC} I_{SC} + \frac{d\Psi_{SC}}{dt} \end{cases}$$

для ротора

$$\begin{cases} U_{RA} = R_{RA} I_{RA} + \frac{d\Psi_{RA}}{dt} \\ U_{RB} = R_{RB} I_{RB} + \frac{d\Psi_{RB}}{dt} \\ U_{RC} = R_{RC} I_{RC} + \frac{d\Psi_{RC}}{dt} \end{cases}$$

для статора

$$\begin{cases} \Psi_{SA} = L_{SA} I_{SA} + L_{SASB} I_{SB} + L_{SASC} I_{SC} + L_{SARA} I_{RA} + L_{SARB} I_{RB} + L_{SARC} I_{RC} \\ \Psi_{SB} = L_{SBSA} I_{SA} + L_{SB} I_{SB} + L_{SBSC} I_{SC} + L_{SBRA} I_{RA} + L_{SBRB} I_{RB} + L_{SBRC} I_{RC} \\ \Psi_{SC} = L_{SCSA} I_{SA} + L_{SCSB} I_{SB} + L_{SC} I_{SC} + L_{SCRA} I_{RA} + L_{SCRB} I_{RB} + L_{SCRC} I_{RC} \end{cases}$$

для ротора

$$\begin{cases} \Psi_{RA} = L_{RASA} I_{SA} + L_{RASB} I_{SB} + L_{RASC} I_{SC} + L_{RA} I_{RA} + L_{RARB} I_{RB} + L_{RARC} I_{RC} \\ \Psi_{RB} = L_{RBSA} I_{SA} + L_{RBSB} I_{SB} + L_{RBSC} I_{SC} + L_{RBRA} I_{RA} + L_{RB} I_{RB} + L_{RBRC} I_{RC} \\ \Psi_{RC} = L_{RCSA} I_{SA} + L_{RCSB} I_{SB} + L_{RCSC} I_{SC} + L_{RCRA} I_{RA} + L_{RCRB} I_{RB} + L_{RC} I_{RC} \end{cases}$$

$$M = \frac{z_p}{\sqrt{3}} \left[I_{RA} (\Psi_{RB} - \Psi_{RC}) + I_{RB} (\Psi_{RC} - \Psi_{RA}) + I_{RC} (\Psi_{RA} - \Psi_{RB}) \right]$$

$$J \frac{d\omega_r}{dt} = M - M_{назр}$$

$$\begin{cases} U_s = R_s I_s + \frac{d\Psi_s}{dt} + j\omega_k \Psi_s \\ U_r = R_r I_r + \frac{d\Psi_r}{dt} + j(\omega_k - \omega_r z_p) \Psi_r \\ \Psi_s = L_s I_s + L_m I_r \\ \Psi_r = L_r I_r + L_m I_s \\ M = \frac{3}{2} z_p (\Psi_{sx} I_{sy} - \Psi_{sy} I_{sx}) \\ J \frac{d\omega_r}{dt} = M - M_{назр} \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_s = \left(R_s + R_r \left(\frac{L_m}{L_r} \right)^2 \right) I_s + j\omega_k \left(L_s - \frac{L_m^2}{L_r} \right) I_s + \frac{L_m}{L_r} \left(j\omega_r z_p - \frac{R_r}{L_r} \right) \Psi_r + \left(L_s - \frac{L_m^2}{L_r} \right) \cdot \frac{dI_s}{dt} \\ 0 = \frac{d\Psi_r}{dt} + \left(j(\omega_k - \omega_r z_p) + \frac{R_r}{L_r} \right) \Psi_r - R_r \frac{L_m}{L_r} I_{sr} \\ M = \frac{3}{2} z_p K_r (\Psi_{rx} I_{sy} - \Psi_{ry} I_{sx}) \\ \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} (M - M_{назр}) \end{cases}$$

Структурная схема асинхронного короткозамкнутого двигателя в неподвижной системе координат представлена на рисунке 12.

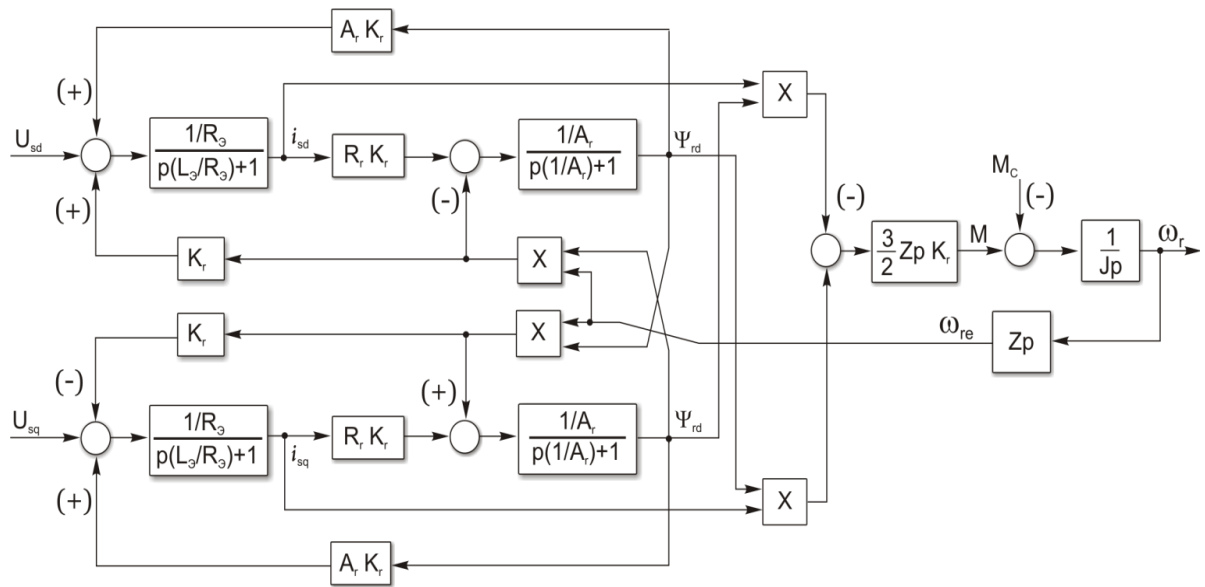


Рисунок 12

По структурной схеме (рис. 12) составляем имитационную модель.

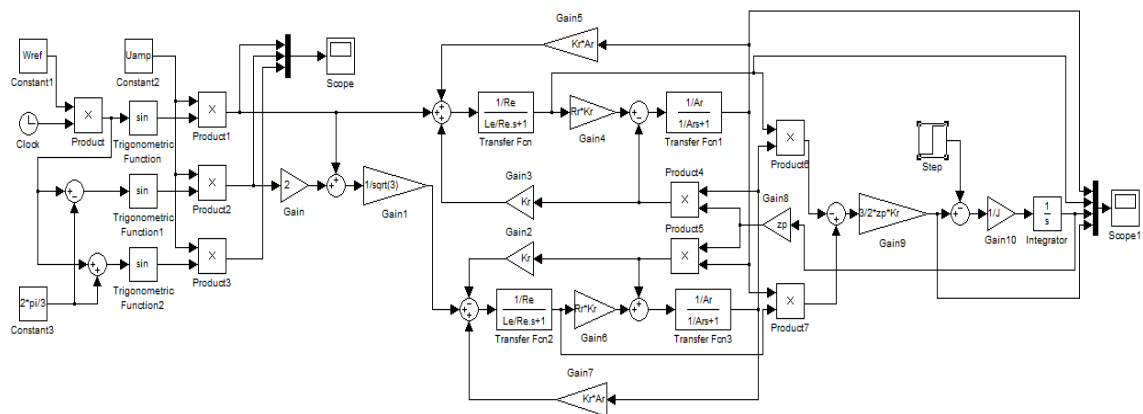


Рисунок 13

```

2      % 1)Load Start-Script file.
3      % 2)Load *.mdl file
4      % 3)Run Simulation
5 -    clear all
6 -    close all
7 -    T=1/10000;      % Sampling time for simulation (sec)
8 -    Tend=0.5;      % Stop time
9 -    Rs=0.258;
10 -   Rr=0.148;
11 -   Ls_=0.001665;
12 -   Lr_=0.002543;
13 -   Lm=0.084;
14 -   p=4;
15 -   J=0.13;
16 -   Ls=Ls_+Lm;
17 -   Lr=Lr_+Lm;
18 -   zp=p/2;
19 -   Kr=Lm/Lr;
20 -   Re=Rs+Rr*Kr^2;
21 -   Le=Ls-Lm^2/Lr;
22 -   Ar=Rr/Lr;
23 -   Km=1.5*zp*Kr;
24 -   Ktx=0.158;
25 -   Kty=0.158;
26 -   Kpsi=12.136;
27 -   Kc=0.074;
28 -   T2=0.002;
29 -   Tmtp=0.000125;
30 -   Je=0.37;
31 -   U=220;
32 -   Fref=50;
33 -   Uamp=220*sqrt(2);
34 -   Wref=2*pi*Fref;
35 -   Krt=18.413;
36 -   Trt=0.208;

```

Рисунок 14 – Параметры, вводимые для расчета имитационной модели

Результаты моделирования переходных процессов $M(t)$, $\omega(t)$, $I(t)$ и $\psi(t)$ в стационарной системе координат, при пуске АД от сети и набросе нагрузки, приведены ниже.

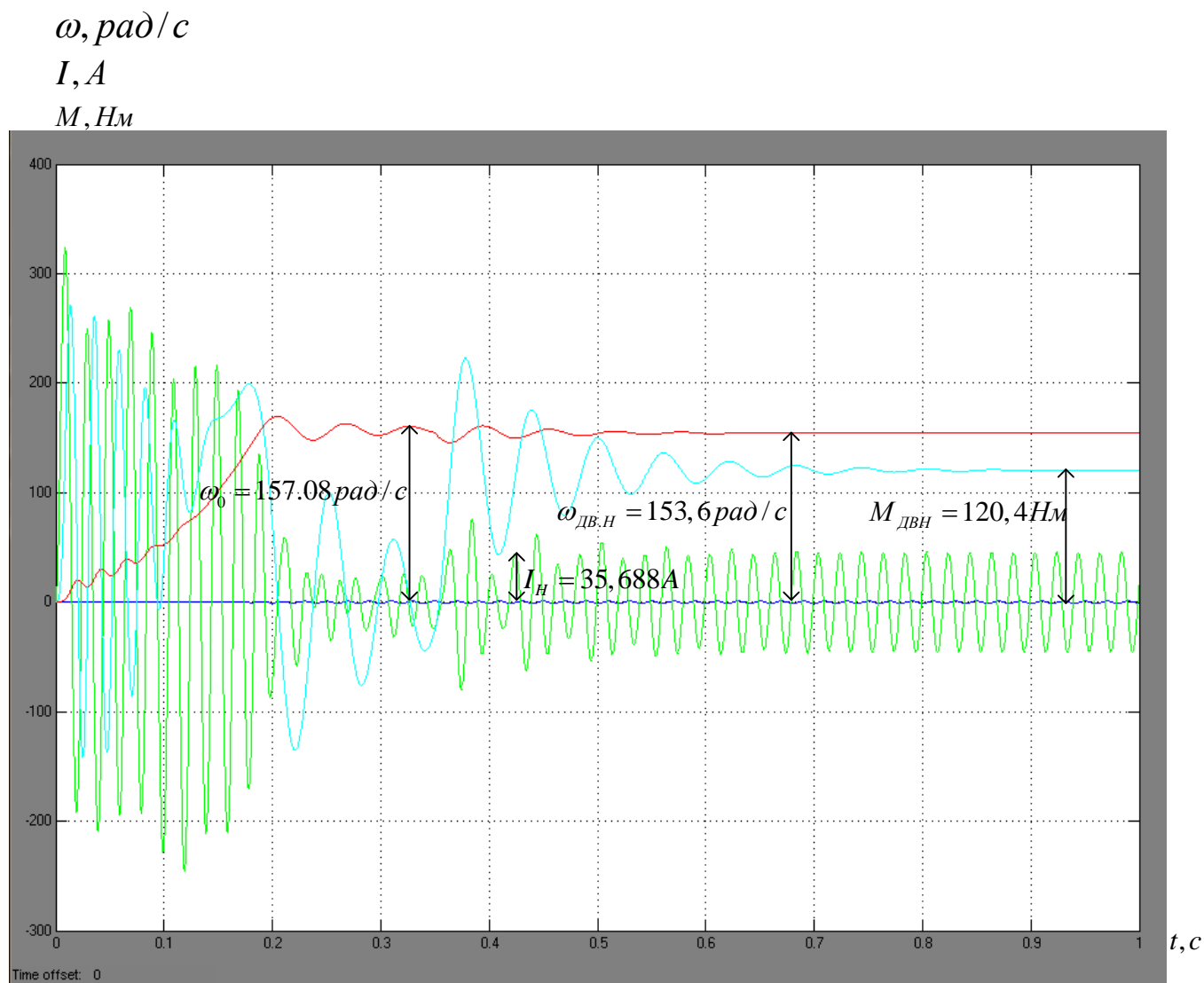


Рисунок 15 – Переходный процесс при пуске короткозамкнутого асинхронного двигателя прямым включением в сеть при моделировании в неподвижной системе координат при набросе нагрузки

При создании модели во вращающейся системе координат используем преобразование Парка-Горева

2. Прямое преобразование:

$$\begin{aligned}
 u_{sx} &= u_{s\alpha} \cos \theta_k + u_{s\beta} \sin \theta_k \\
 u_{sy} &= -u_{s\alpha} \sin \theta_k + u_{s\beta} \cos \theta_k
 \end{aligned}
 \quad
 \frac{d\theta_k}{dt} = \omega_k \quad
 \theta_k = \omega_k \frac{1}{p}$$

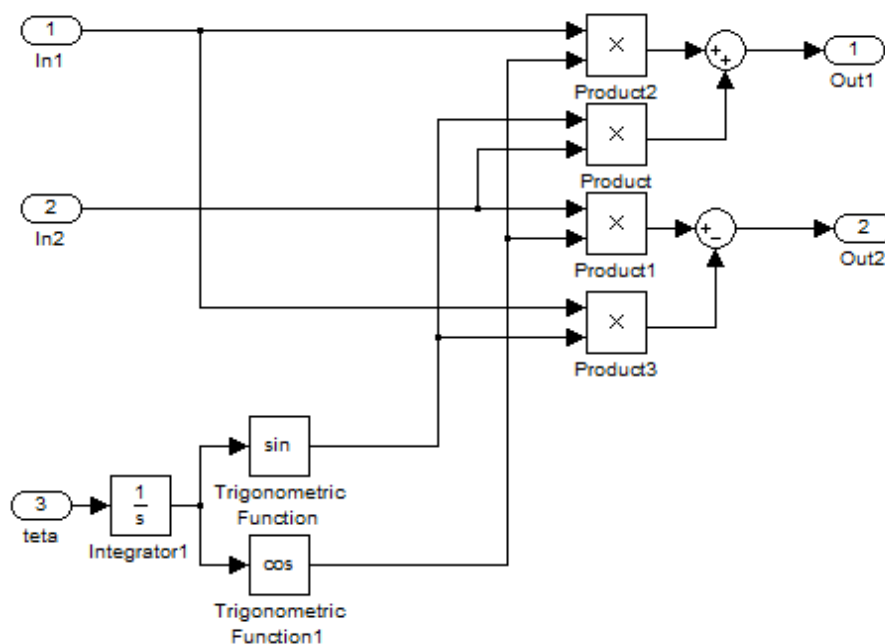


Рисунок 16 – Прямое преобразование Парка-Горева (*Park Transform*) в системе *MATLAB*

2. Обратное преобразование

$$\begin{aligned}
 i_{s\alpha} &= i_{sx} \cos \theta_k - i_{sy} \sin \theta_k \\
 i_{s\beta} &= i_{sx} \sin \theta_k + i_{sy} \cos \theta_k
 \end{aligned}
 \quad
 \frac{d\theta_k}{dt} = \omega_k \quad
 \theta_k = \omega_k \frac{1}{p}$$

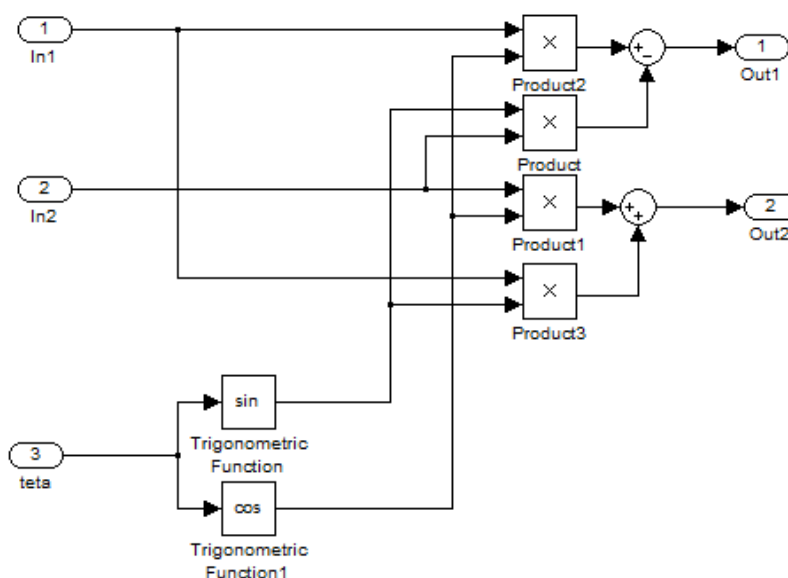


Рисунок 17 – Обратное преобразование Парка-Горева (*Park Transform*) в системе *MATLAB*

Условие ориентации вращающейся системы координат по вектору потокосцепления ротора

$$\psi_{ry} = 0 \quad \frac{d\psi_{ry}}{dt} = 0 \quad \psi_{rx} = \psi_r$$

Математическое описание процессов АД

1)

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dI_{sx}}{dt} &= \frac{1}{L_e} (U_{sx} - R_e I_{sx} + K_r A_r \Psi_{rx} + K_r \omega_r z_p \Psi_{ry}) + \omega_k I_{sy} \\ \frac{dI_{sy}}{dt} &= \frac{1}{L_e} (U_{sy} - R_e I_{sy} + K_r A_r \Psi_{ry} - K_r \omega_r z_p \Psi_{rx}) - \omega_k I_{sx} \\ \frac{d\Psi_{rx}}{dt} &= R_r K_r I_{sx} - A_r \Psi_{rx} + \omega_k \Psi_{ry} - \omega_r z_p \Psi_{ry} \\ \frac{d\Psi_{ry}}{dt} &= R_r K_r I_{sy} - A_r \Psi_{ry} - \omega_k \Psi_{rx} + \omega_r z_p \Psi_{rx} \\ M &= \frac{3}{2} z_p K_r (\Psi_{rx} I_{sy} - \Psi_{ry} I_{sx}) \\ \frac{d\omega_r}{dt} &= \frac{1}{J} (M - M_{назр}) \end{aligned} \right.$$

2)

$$\left\{ \begin{aligned} p i_{sx} &= \frac{1}{L_e} (u_{sx} - R_e i_{sx} + K_r A_r \psi_r + L_e \omega_k z_p i_{sx}) \\ p i_{sy} &= \frac{1}{L_e} (u_{sy} - R_e i_{sy} - K_r \omega_r z_p \psi_r - L_e \omega_k z_p i_{sy}) \\ p \psi_r &= R_r K_r i_{sx} - A_r \psi_r \\ 0 &= R_r K_r i_{sy} - \beta_k z_p \psi_r \\ M &= \frac{3}{2} z_p K_r \psi_r \cdot i_{sy} \\ p \omega_r &= \frac{1}{J} (M - M_c) \end{aligned} \right.$$

β_k -скольжение координатной системы относительно угловой частоты вращения ротора

$$\beta_k = \omega_k - \omega_r \quad \omega_k = \frac{K_r R_r i_{sy}}{\psi_r z_p} + \omega_r$$

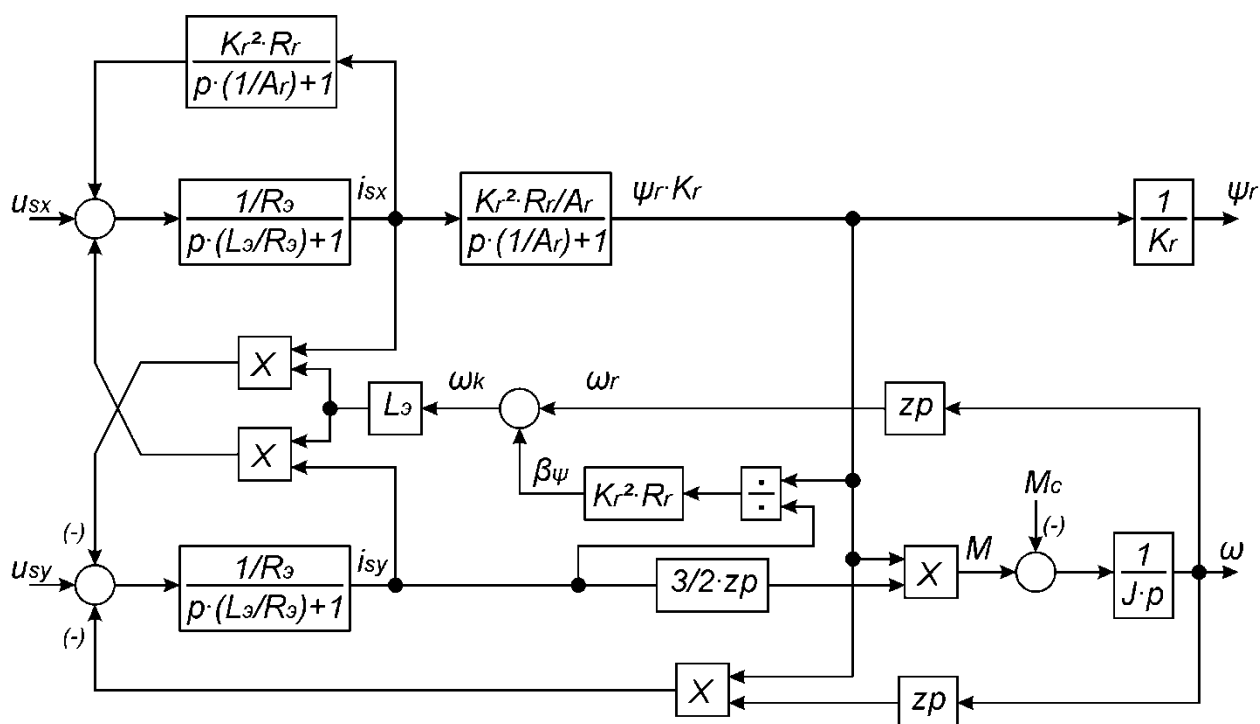


Рисунок 18

По структурной схеме (рис.18) собираем имитационную модель

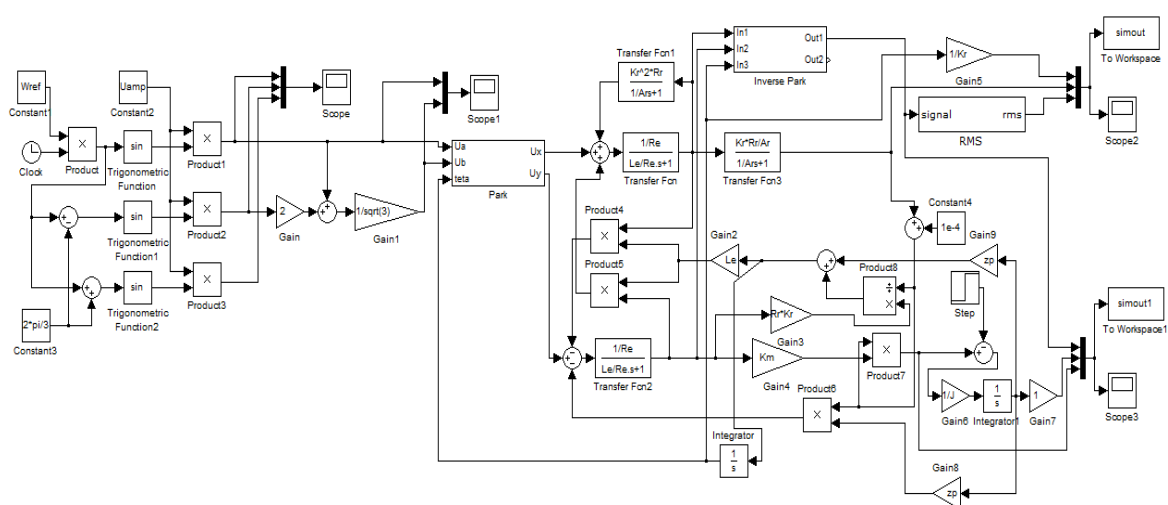


Рисунок 19 –

Результаты моделирования переходных процессов $M(t)$, $\omega(t)$, $I(t)$ и $\psi(t)$ во вращающейся системе координат, при пуске АД от сети и набросе нагрузки, приведены ниже.

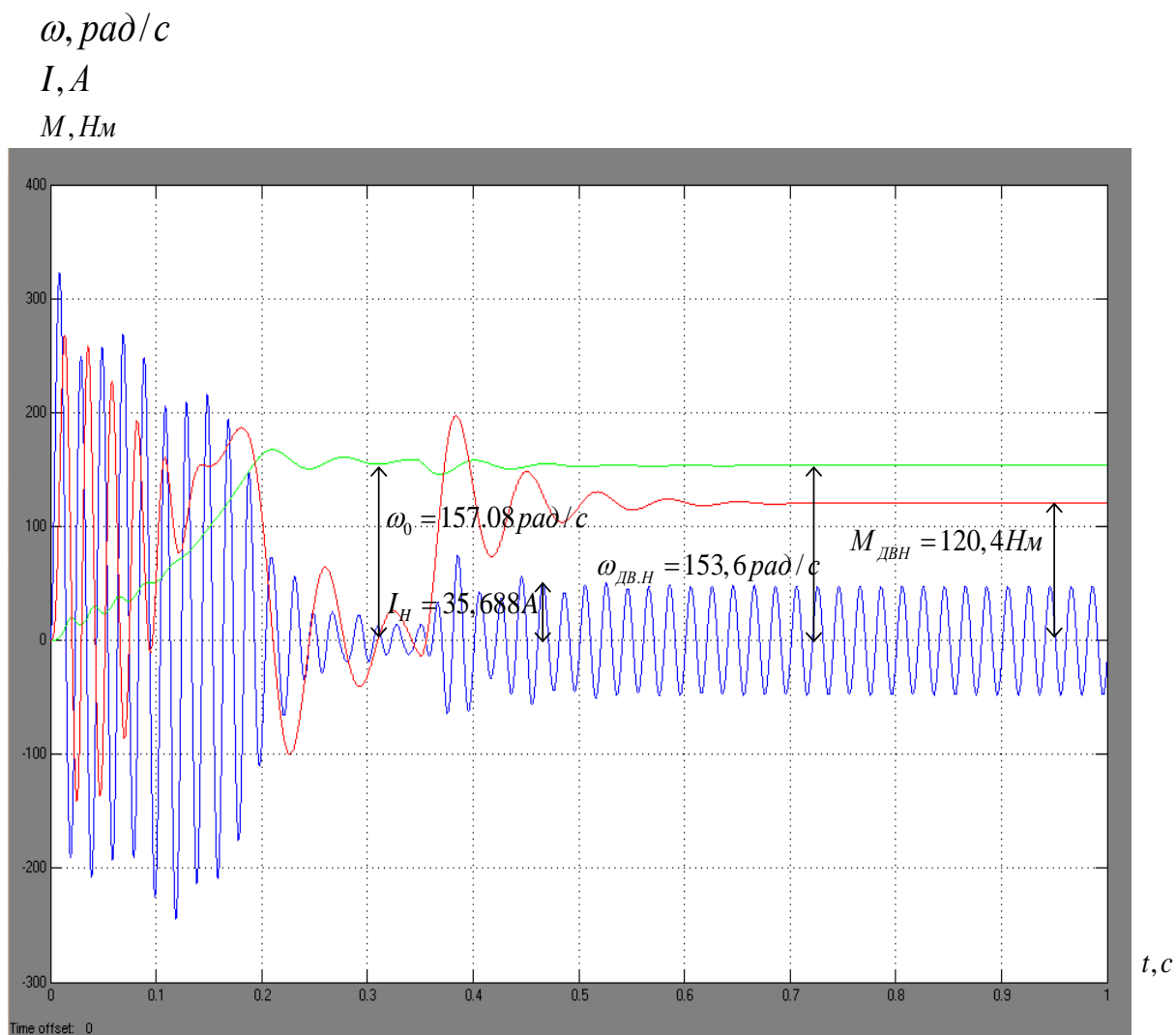


Рисунок 20

Вывод: сравнивая результаты имитационного моделирования короткозамкнутого асинхронного двигателя в неподвижной и вращающейся системе координат, можно сделать вывод об их практически полном совпадении.

Установившиеся значения тока скорости и момента равны заданным, что показывает, что обе схемы работают правильно.

5. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТУРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Контуры регулирования тока, потокосцепления и скорости электроприводов переменного тока имеют относительно большую инерционность в цепи обратной связи.

5.1 Оптимизация контура тока с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором

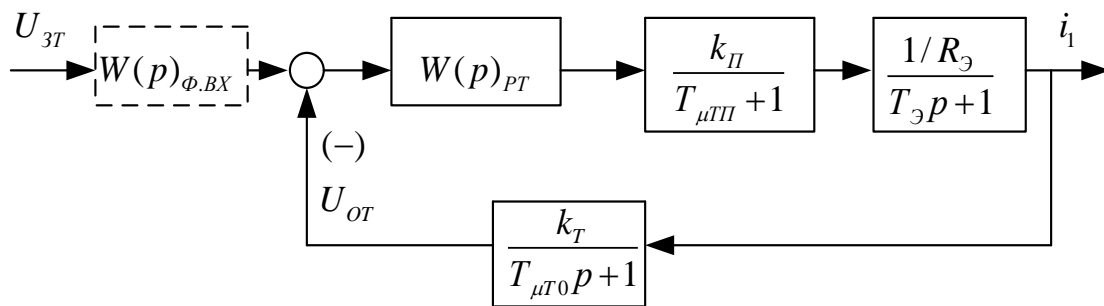


Рисунок 21 – Структурная схема контура тока

На схеме рис.21, согласно [1], приняты следующие обозначения:

U_{3T} -

$T_{\mu\Pi}$ -;

$$T_{\mu\Pi} = \frac{1}{f_H} = \frac{1}{8 \cdot 10^3} = 0,000125c;$$

$T_{\mu T0}$ -

$$W_{PT}(p) = k_{PT} \cdot \frac{T_{PT} \cdot p + 1}{T_{PT} \cdot p} = 18,413 \cdot \frac{0,208 \cdot p + 1}{0,208 \cdot p}$$

$$k_{PT} = \frac{T_{\Sigma} \cdot R_{\Sigma}}{k_H \cdot k_T \cdot a_T \cdot (T_{\mu\Pi} + T_{\mu T0})} = \frac{0,208 \cdot 0,396}{31,113 \cdot 0,158 \cdot 2 \cdot (0,000125 + 0,00033)} = 18,413,$$

$$\Gamma \text{ де } k_T = \frac{U_{3TMAX}}{I_{ЭПМАКС}} = \frac{10}{63,207} = 0,158, B / A; \quad U_{3TMAX} = 10B;$$

$$a_T = 2$$

$$T_{PT} = T_{\Sigma} = 0,208c;$$

$$W(p)_{PA3.T} = \frac{1}{a_T \cdot T_{\mu TP} \cdot T_{\mu T0} \cdot T_{\mu TЭ} \cdot p^3 + a_T \cdot T_{\mu TЭ}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu TЭ} \cdot p} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 0,000125 \cdot 0,00033 \cdot 0,00046 \cdot p^3 + 2 \cdot 0,000046^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,00046 \cdot p^2};$$

- замкнутого контура

$$W(p)_{3AM.T} = \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu T0} + 1)}{a_T \cdot T_{\mu TP} \cdot T_{\mu T0} \cdot T_{\mu TЭ} \cdot p^3 + a_T \cdot T_{\mu TЭ}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu TЭ} \cdot p + 1} \approx \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu T0} + 1)}{a_T \cdot T_{\mu TЭ}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu TЭ} \cdot p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{\frac{1}{0,158} \cdot (0,00033 + 1)}{2 \cdot 0,00046^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,00046 \cdot p^2};$$

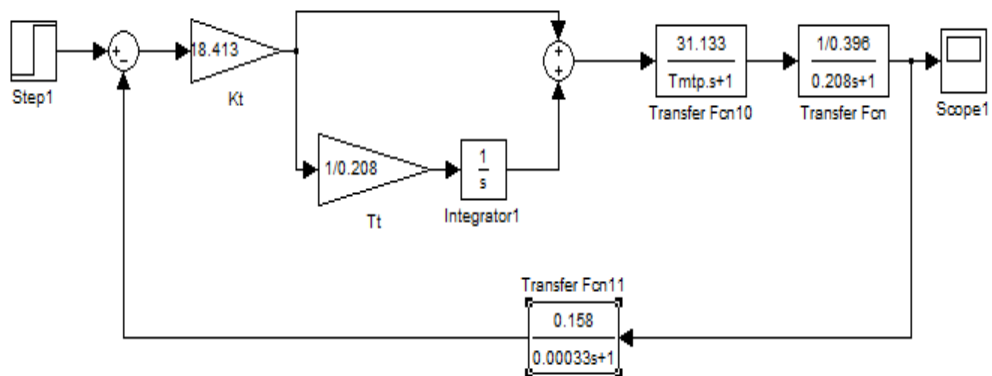


Рисунок 22 – Структурная схема контура тока

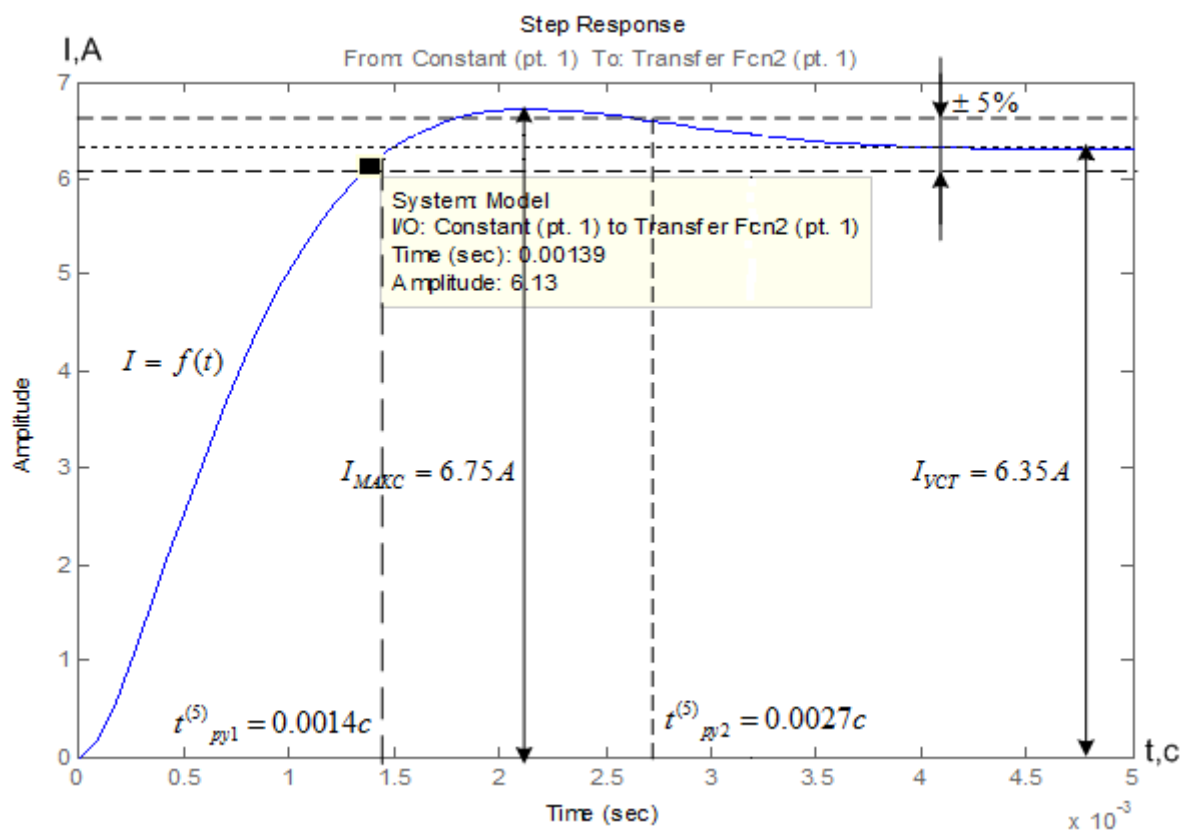


Рисунок 23 – Переходная характеристика $i(t)$ контура тока по структурной схеме рисунка 22

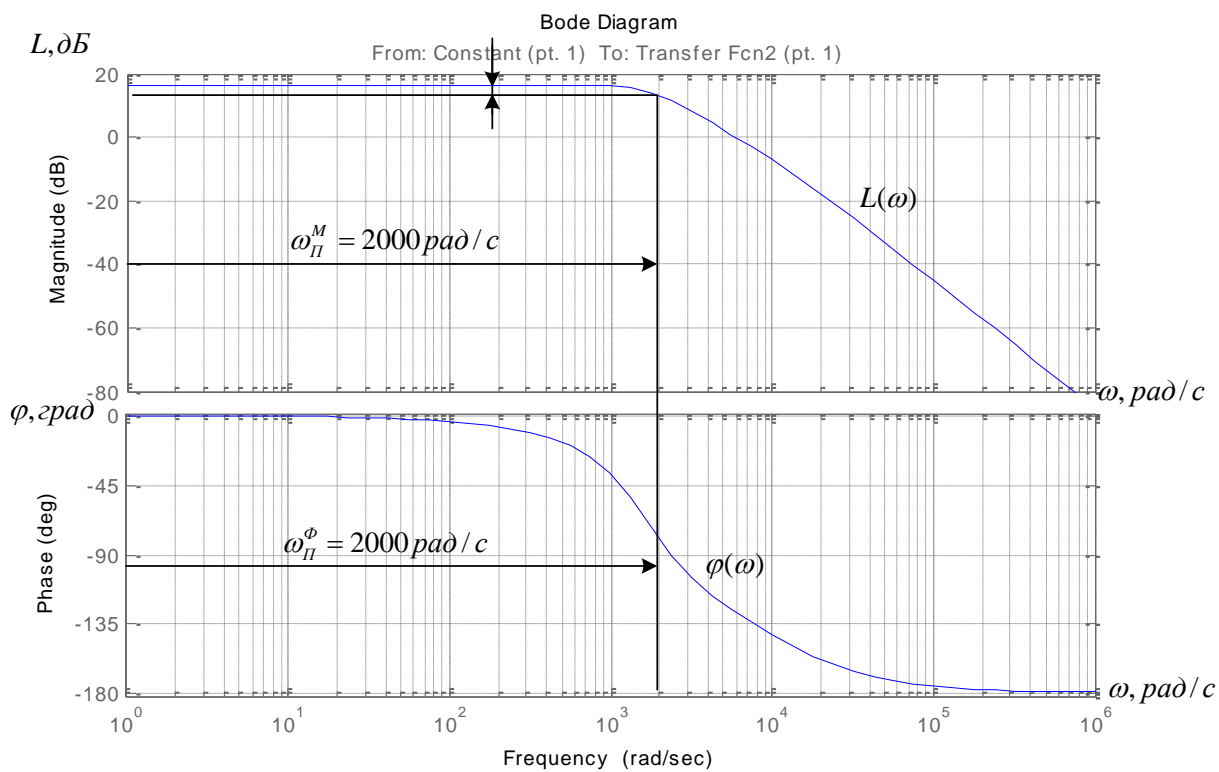


Рисунок 24 – Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура тока, настроенного на МО(без фильтра на входе)

Разомкнутый контур

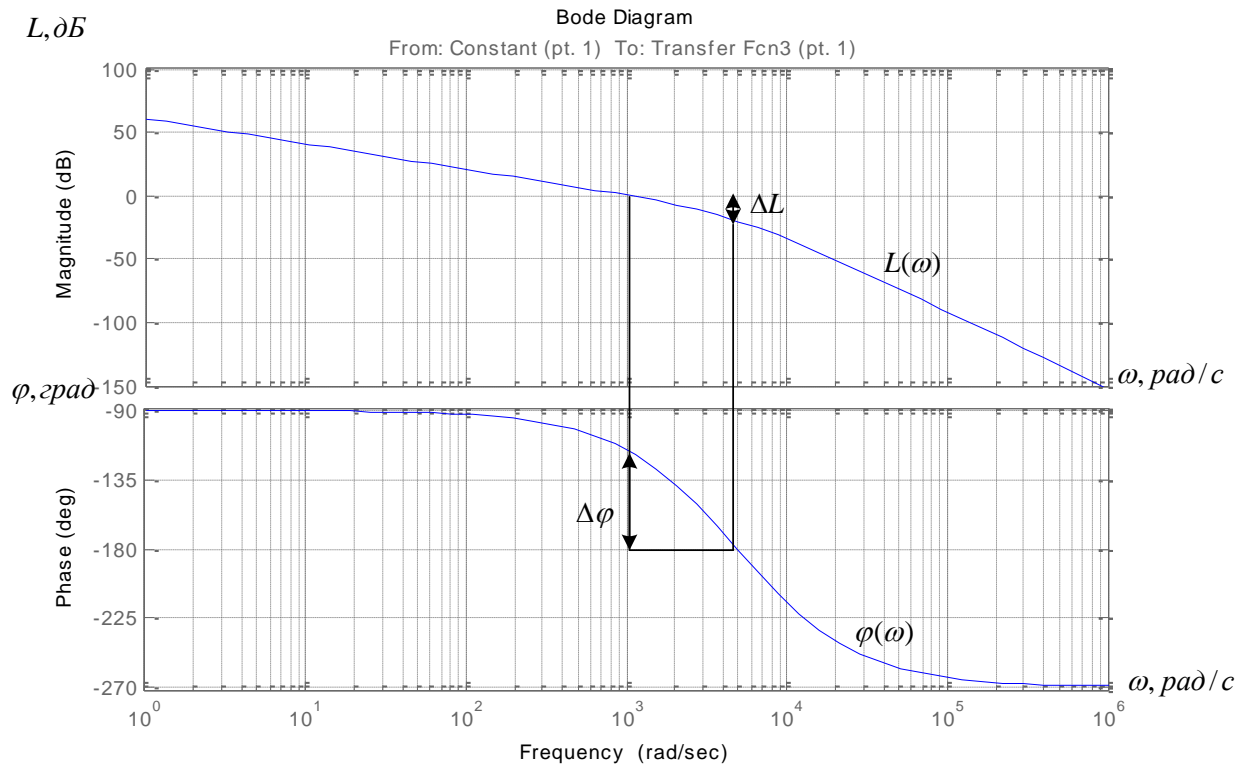


Рисунок 25

При $T_{\mu\Pi\Pi} \ll T_{\mu T0} = (0,000125 \ll 0,00033)$ установившаяся ошибка $\Delta I_{уст} = 0, A$;

- $\sigma = 6.7\%$;

$$t_{py1}^{(5)} = 2,75 \cdot (T_{\mu\Pi\Pi} + T_{\mu T0}) = 2,75 \cdot (0,000125 + 0,00033) = 0,00125, c,$$

$$t_{py2}^{(5)} = 6 \cdot (T_{\mu\Pi\Pi} + T_{\mu T0}) = 6 \cdot (0,000125 + 0,00033) = 0,00273, c.$$

Для замкнутого контура

- полоса пропускания по модулю

$$\omega_{\Pi}^{(M)} \approx \omega_{\Pi}^{(\Phi)} \approx \frac{0,9}{T_{\mu\Pi\Pi} + T_{\mu T0}} \approx \frac{0,9}{0,000125 + 0,00033} = 1978, \text{ рад/с};$$

из характеристик $\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\Phi)} = 2000, \text{ рад/с};$

Для разомкнутого контура

- запас устойчивости по модулю $\Delta L = 40 \text{ dB}$;

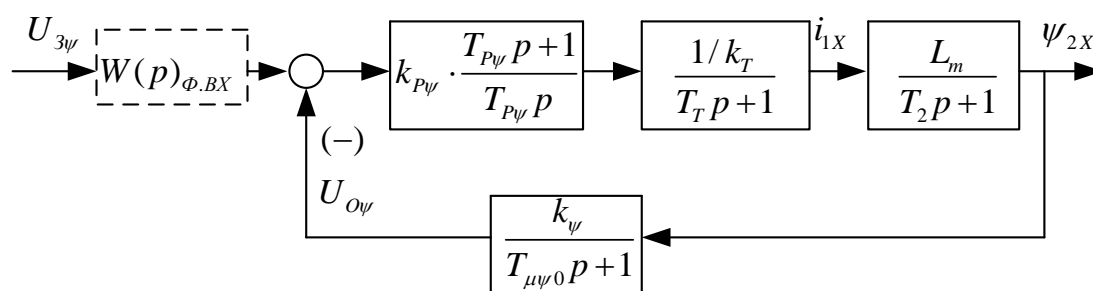
Таблица 9 – Показатели переходных процессов контура тока с ПИ-регулятором

Показатели переходных процессов			
По управлению			
$t_{py1}^{(5)}$	$t_{py2}^{(5)}$	$\sigma, \%$	$\Delta I_{уст}, A$
Ожидаемые показатели			
0,00125	0,00273	6,7	0
Результаты моделирования			
0,0014	0,0027	6,5	0

Вывод: мы свели в таблицу теоретические и экспериментальные показатели качества линеаризованного контура тока, и увидели что, ожидаемые показатели и результаты моделирования отличаются не намного, следовательно можно сказать, что данный контур работает правильно.

$$W(p)_{зам.т} \approx \frac{\frac{1}{k_T}}{T_T \cdot p + 1} \approx \frac{\frac{1}{0,158}}{0,000917 \cdot p + 1},$$

Где $T_T = a_T \cdot T_{\mu T \Sigma} = a_T \cdot (T_{\mu TP} + T_{\mu T0}) = 2 \cdot (0,000125 + 0,00033) = 0,000917c$, -



Рисунок

$$W(p)_{Pψ} = k_{Pψ} \cdot \frac{T_{Pψ} \cdot p + 1}{T_{Pψ} \cdot p} = 12,598 \cdot \frac{0,588 \cdot p + 1}{0,588 \cdot p}.$$

$$k_{Pψ} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_ψ} \cdot \frac{1}{a_ψ \cdot (T_T + T_{μψ0})} = \frac{0,588 \cdot 0,158}{0,084 \cdot 12,136} \cdot \frac{1}{2 \cdot (0,000917 + 0,0027)} = 12,598,$$

Где $k_{\psi} = \frac{U_{3\psi MAKC}}{\psi_H} = \frac{10}{0,824} = 12,136, B / Bб; \quad U_{3\psi MAKC} = 10B;$

$a_{\psi} = 2$ -коэффициент оптимизации.

$$W(p)_{PA3,\psi} = \frac{1}{a_{\psi} \cdot T_T \cdot T_{\mu\psi 0} \cdot T_{\mu\psi \Delta} \cdot p^3 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi \Delta}^2 \cdot p^2 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi \Delta} \cdot p} \approx \frac{1}{2 \cdot 0,000917 \cdot 0,0027 \cdot 0,0036 \cdot p^3 + 2 \cdot 0,0036^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,0036 \cdot p};$$

- замкнутого контура

$$W(p)_{3AM,\psi} = \frac{\frac{1}{k_{\psi}} \cdot (T_{\mu\psi 0} \cdot p + 1)}{a_{\psi} \cdot T_T \cdot T_{\mu\psi 0} \cdot T_{\mu\psi \Delta} \cdot p^3 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi \Delta}^2 \cdot p^2 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi \Delta} \cdot p + 1} \approx \frac{\frac{1}{k_{\psi}} \cdot (T_{\mu\psi 0} \cdot p + 1)}{a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi \Delta}^2 \cdot p^2 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi \Delta} \cdot p + 1} \approx \frac{\frac{1}{12,136} \cdot (0,0027 \cdot p + 1)}{2 \cdot 0,0036^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,0036 \cdot p + 1};$$

Где $T_{\mu\psi \Delta} = T_T + T_{\mu\psi 0} = 0,000917 + 0,0027 = 0,0036, c$ - эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура.

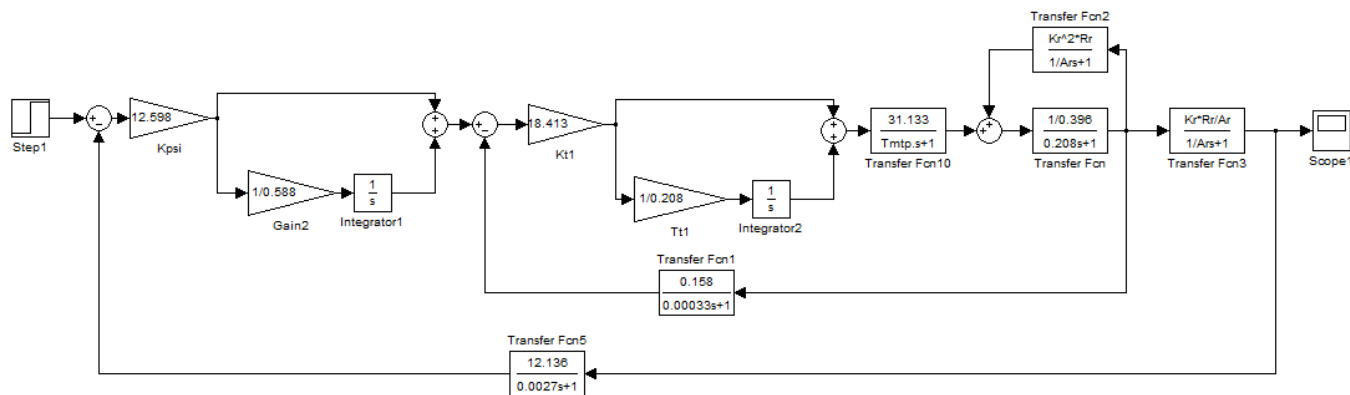


Рисунок 27 – Структурная схема контура потокосцепления с ПИ-регулятором

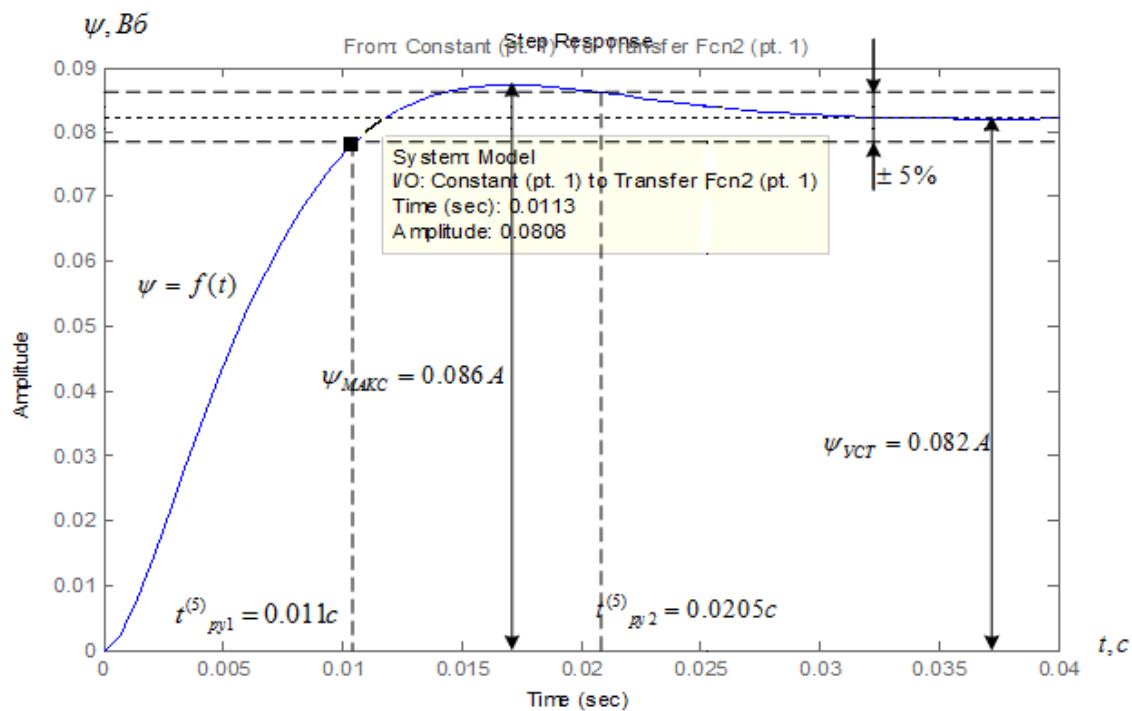


Рисунок 28- Переходная характеристика $\psi(t)$ контура потокосцепления по структурной схеме рисунка 27

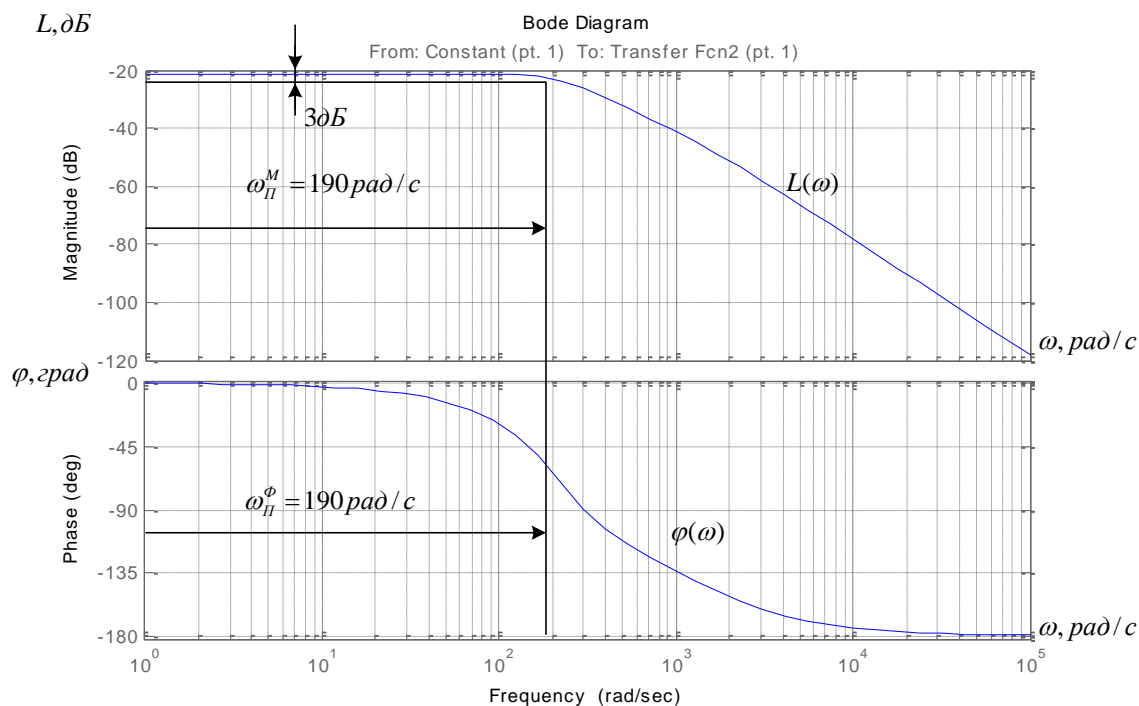


Рисунок 29 – Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура потокосцепления, настроенного на МО(без фильтра на входе)

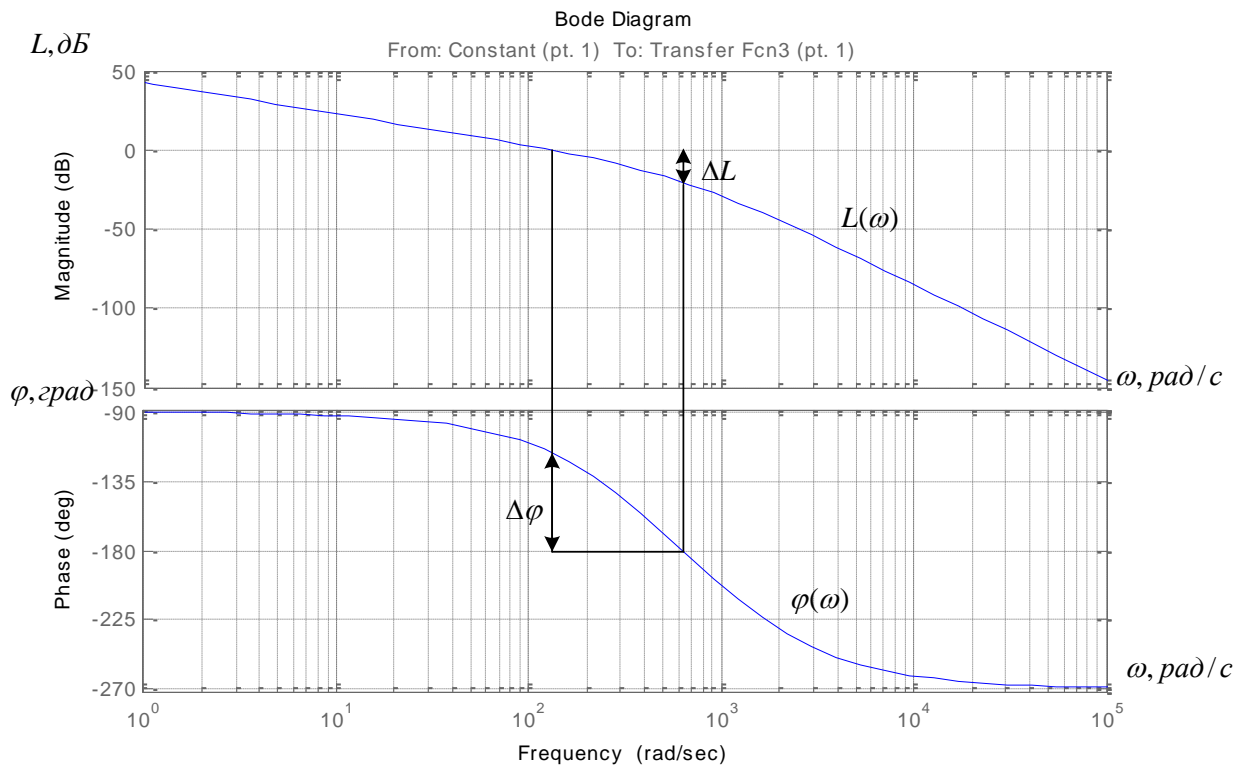


Рисунок 30

- показатели отработки скачка задания
- перерегулирование

$$\sigma = (4.3 \div 6.7)\%;$$

- время вхождения в 5% зону

$$t_{PV1}^{(5)} = (4,1 \div 2,75) \cdot (T_T + T_{\mu\psi 0}) = (4,1 \div 2,75) \cdot (0,000917 + 0,0027) = 0,011, c.$$

$$t_{PV2}^{(5)} = 0,0205, c.$$

Для замкнутого контура

- полоса пропускания по модулю

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{(0.71 - 0.9)}{T_T + T_{\mu\psi 0}} = \frac{0,9}{0,000917 + 0,0027} = 197,2 \text{ рад/с}; \text{ из характеристик видно}$$

$$\text{что } \omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\Phi)} = 190 \text{ рад/с};$$

- полоса пропускания по фазе $\omega_{\Pi}^{(\Phi)} = 185 \text{ рад/с};$

Для разомкнутого контура

- запас устойчивости по модулю $\Delta L = 20 \text{ дБ};$
- запас устойчивости по фазе $\Delta \varphi = 60 \text{ град};$

Таблица 10 – Показатели переходных процессов контура потокосцепления с ПИ- регулятором

Показатели переходных процессов			
По управлению			
$t_{py1}^{(5)}$	$t_{py2}^{(5)}$	$\sigma, \%$	$\Delta\psi_{уст}, Вб$
Ожидаемые показатели			
0,011	-	(4.3 ÷ 6.7)	0
Результаты моделирования			
0,011	0,0205	6,5	0

Вывод: Мы свели показатели переходных процессов контура потокосцепления с ПИ- регулятором в таблицу, из которой видно, что ожидаемые показатели качества и результаты моделирования отличаются не намного - это говорит о правильности работы данного контура.

5.3

$$W(p)_{зам.Т} \approx \frac{\frac{1}{k_T}}{T_T \cdot p + 1} \approx \frac{\frac{1}{0,158}}{0,000917 \cdot p + 1};$$

$$\text{Где} \quad T_T = a_T \cdot T_{\mu T \Theta} = a_T \cdot (T_{\mu T \Pi} + T_{\mu T 0}) = 2 \cdot (0,000125 + 0,00033) = 0,000917 \text{с, -}$$

эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

5.3.1. Оптимизация контура скорости с ПИ- регулятором

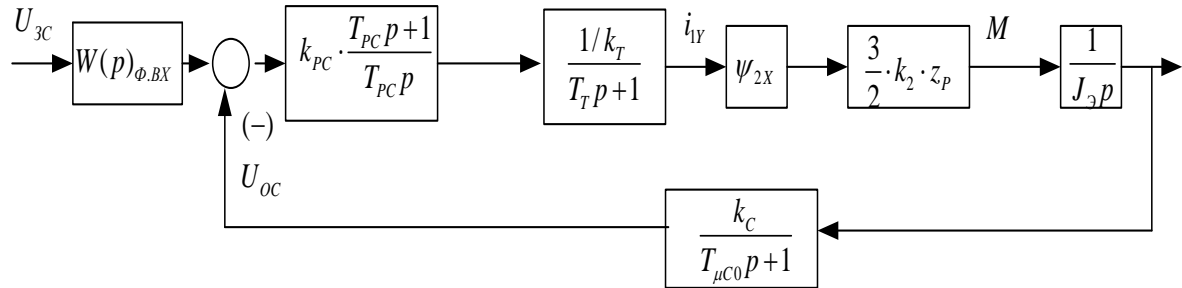


Рисунок 31

$$W(p)_{PC} = k_{PC} \cdot \frac{T_{PC} \cdot p + 1}{T_{PC} \cdot p} = 56,707 \cdot \frac{0,012 \cdot p + 1}{0,012 \cdot p}.$$

$$k_{PC} = \frac{J_{\Delta} \cdot k_T}{\psi_{2X} \cdot \frac{3}{2} \cdot k_2 \cdot z_p \cdot k_C} \cdot \frac{1}{a_C \cdot (T_T + T_{\mu C0})} = \frac{0,37 \cdot 0,158}{0,824 \cdot \frac{3}{2} \cdot 0,966 \cdot 2 \cdot 0,074} \cdot \frac{1}{2 \cdot (0,000917 + 0,002)} = 56,707,$$

$$\text{Где } k_2 = \frac{L_m}{L_2} = \frac{0,084}{0,087} = 0,966,$$

$$T_{PC} = b_C \cdot a_C \cdot (T_T + T_{\mu C0}) = 2 \cdot 2 \cdot (0,000917 + 0,002) = 0,012, c -$$

$$W(p)_{PA3.C} = \frac{(a_C \cdot b_C \cdot T_{\mu C\Delta} \cdot p + 1)}{b_C \cdot a_C^4 \cdot T_T \cdot T_{\mu C0} \cdot T_{\mu C\Delta}^4 \cdot p^4 + b_C \cdot a_C^3 \cdot T_{\mu C\Delta}^3 \cdot p^3 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C\Delta}^2 \cdot p^2 + b_C \cdot a_C \cdot T_{\mu C\Delta} \cdot p + 1} =$$

$$= \frac{(2 \cdot 2 \cdot 0,00292 \cdot p + 1)}{2 \cdot 2^4 \cdot 0,000917 \cdot 0,002 \cdot 0,00292^4 \cdot p^4 + 2 \cdot 2^3 \cdot 0,00292^3 \cdot p^3 + 2 \cdot 2^2 \cdot 0,00292^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 2 \cdot 0,00292 \cdot p + 1};$$

$$W(p)_{3AM.C} = \frac{1}{k_C} \cdot \frac{(a_C \cdot b_C \cdot T_{\mu C\Delta} \cdot p + 1) \cdot (T_{\mu C0} \cdot p + 1)}{b_C \cdot a_C^2 \cdot T_T \cdot T_{\mu C0} \cdot T_{\mu C\Delta}^2 \cdot p^4 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C\Delta}^3 \cdot p^3 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C\Delta}^2 \cdot p^2 + b_C \cdot a_C \cdot T_{\mu C\Delta} \cdot p + 1} =$$

$$= \frac{1}{0,074} \cdot \frac{(2 \cdot 2 \cdot 0,00292 \cdot p + 1) \cdot (0,002 \cdot p + 1)}{2 \cdot 2^2 \cdot 0,000917 \cdot 0,002 \cdot 0,00292^4 \cdot p^4 + 2 \cdot 2^2 \cdot 0,00292^3 \cdot p^3 + 2 \cdot 2^2 \cdot 0,00292^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 2 \cdot 0,00292 \cdot p + 1};$$

$$\text{Где } T_{\mu C\Delta} = T_T + T_{\mu C0} = 0,000917 + 0,002 = 0,00292, c - \text{ времени}$$

Если на входе контура установить фильтр с передаточной функцией

$$W(p)_{\Phi.BX.} = \frac{1}{T_{\Phi.BX2} \cdot p + 1} = \frac{1}{0,002 \cdot p + 1};$$

И постоянной времени $T_{\Phi.BX2} = T_{\mu C0} = 0,002, c$

То перерегулирование не будет превышать 43%. Для ограничения перерегулирования на уровне 8.1% на входе контура скорости должны быть включены два одинаковых фильтра соответственно с постоянными времени.

$$T_{\Phi.BX2} = b_C \cdot a_C \cdot (T_T + T_{\mu C0}) = 2 \cdot 2 \cdot (0.000917 + 0.002) = 0.0117, c;$$

$$T_{\Phi.BX2} = T_{\mu C0} = 0,002, c;$$

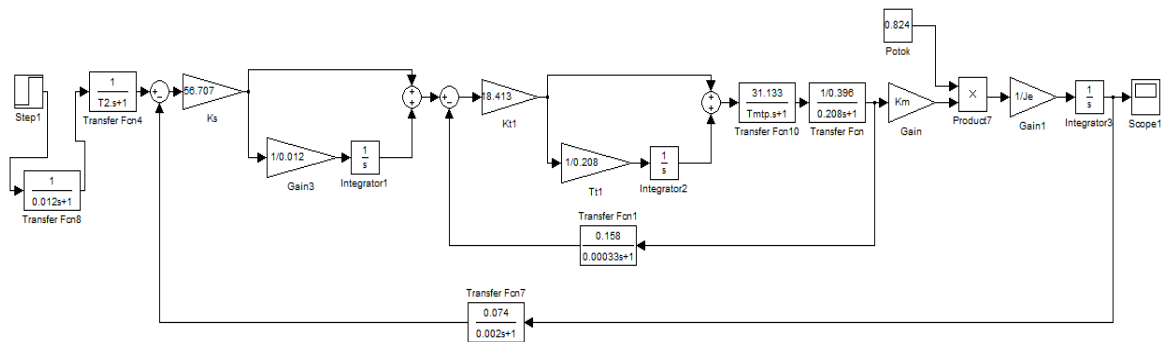


Рисунок 32

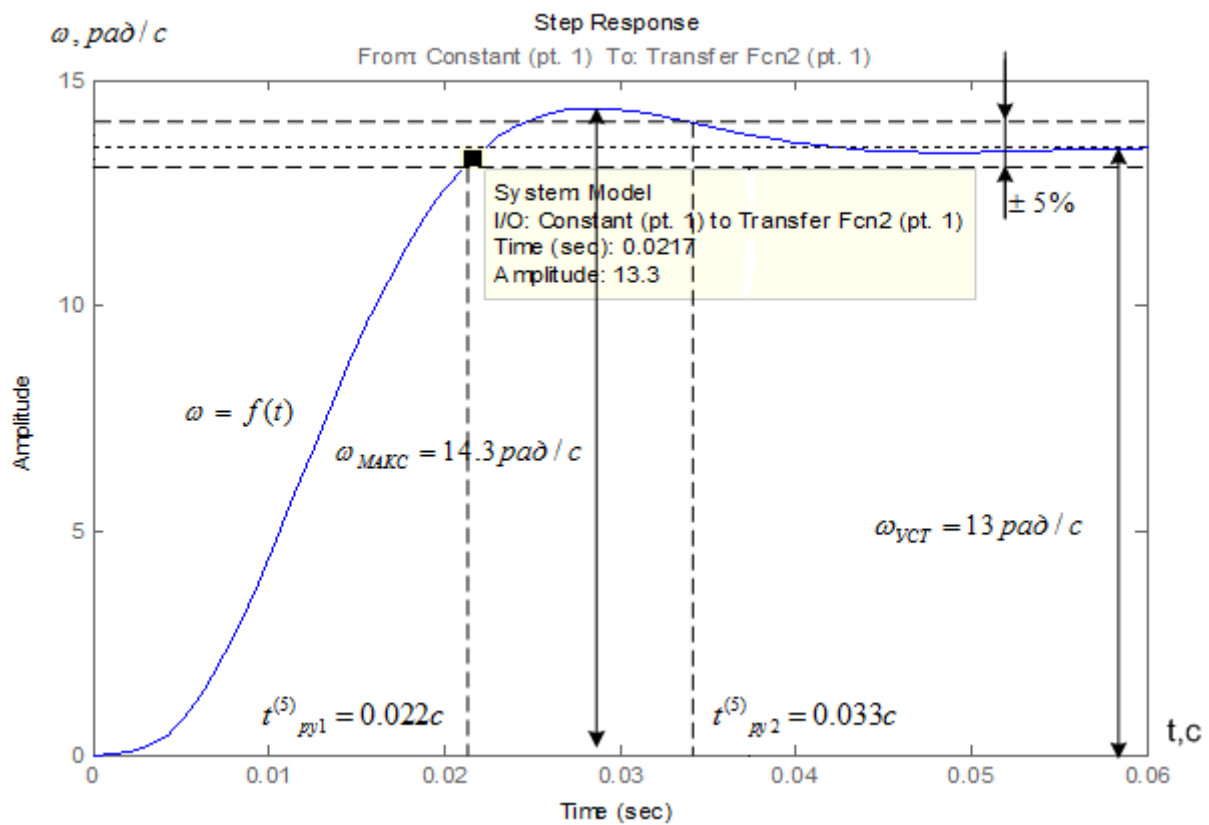


Рисунок 33 – Переходная характеристика контура скорости по структурной схеме рисунка 32 (с 2-мя фильтрами на входе)

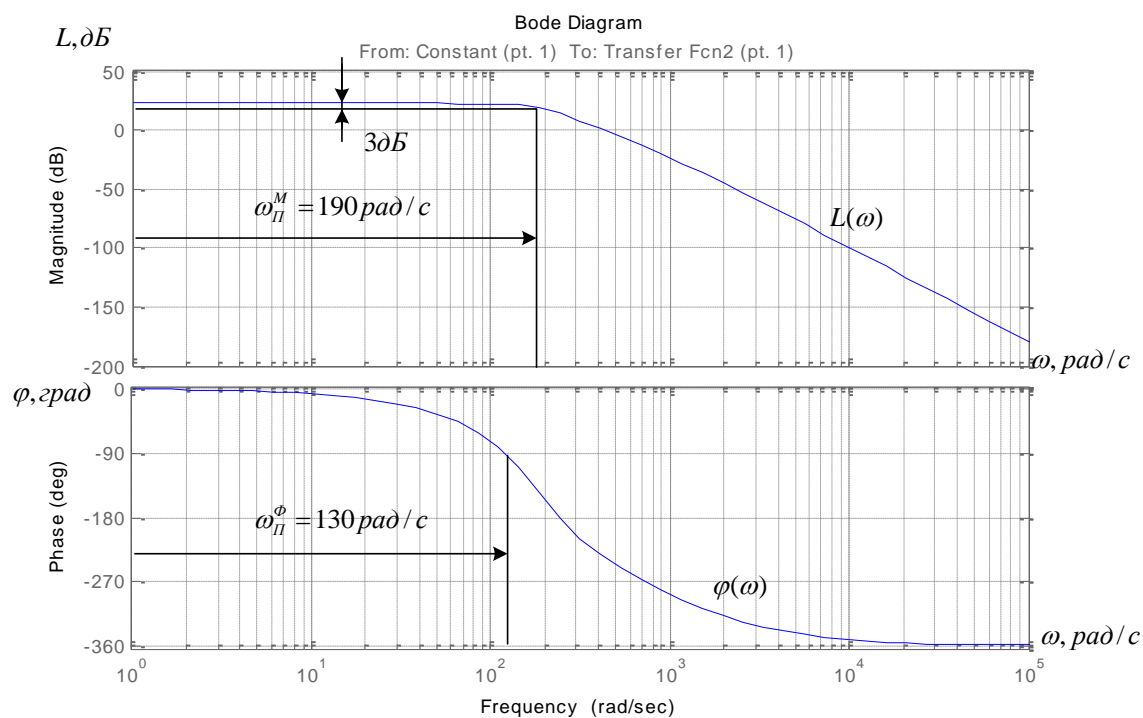


Рисунок 34 – Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура скорости, настроенного на МО (с фильтрами на входе)

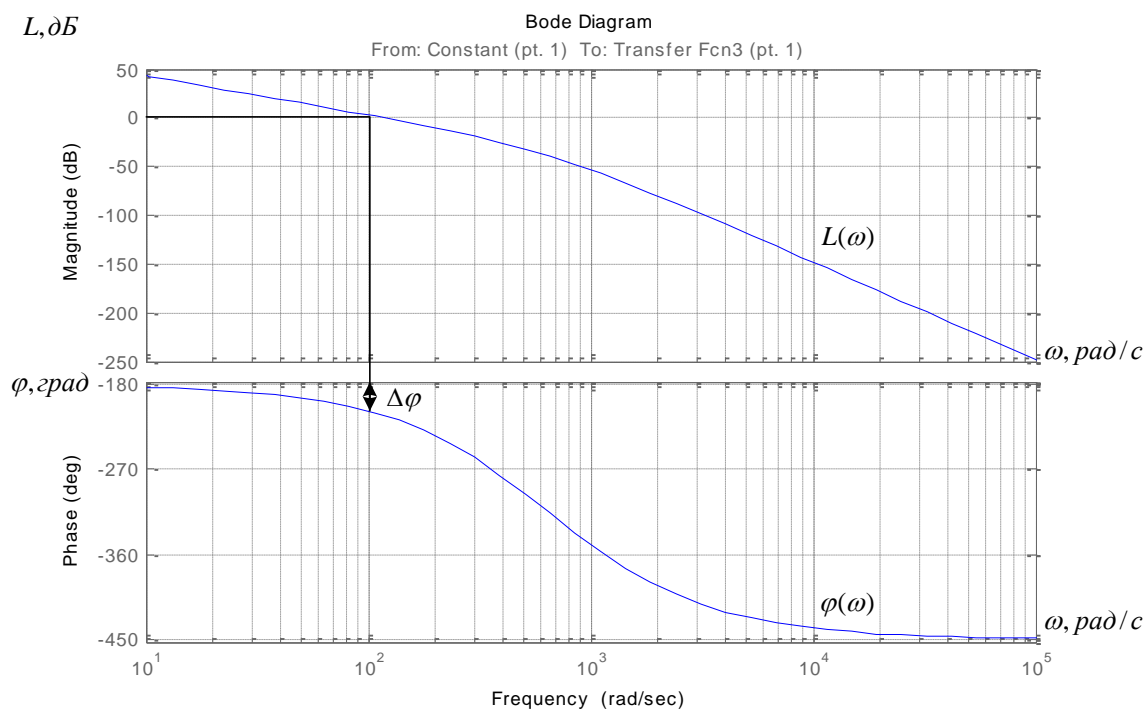


Рисунок 35 – Логарифмические частотные характеристики разомкнутого контура скорости

$$W(p)_{PA3.C} = \frac{1}{k_C} \cdot \frac{1}{b_C \cdot a_C^2 \cdot T_T \cdot T_{\mu C0} \cdot T_{\mu C\Delta}^2 \cdot p^4 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C\Delta}^3 \cdot p^3 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C\Delta}^2 \cdot p^2 + b_C \cdot a_C \cdot T_{\mu C\Delta} \cdot p + 1} =$$

$$= \frac{1}{0,074} \cdot \frac{2 \cdot 2 \cdot (0,00292 \cdot p + 1) \cdot (0,002 \cdot p + 1)}{2 \cdot 2^2 \cdot 0,000917 \cdot 0,002 \cdot 0,00292^4 \cdot p^4 + 2 \cdot 2^2 \cdot 0,00292^3 \cdot p^3 + 2 \cdot 2^2 \cdot 0,00292^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 2 \cdot 0,00292 \cdot p + 1};$$

Где $T_{\mu C\Delta} = T_T + T_{\mu C0} = 0,000917 + 0,002 = 0,00292, c$ -

$$T_{\Phi.BX2} = b_C \cdot a_C \cdot (T_T + T_{\mu C0}) = 2 \cdot 2 \cdot (0,000917 + 0,002) = 0,0117;$$

$$\sigma = (8,1 \div 10)\%.$$

$$t_{py1}^{(5)} = (7 \div 5,8) \cdot (T_T + T_{\mu C0}) = (7 \div 5,8) \cdot (0,000917 + 0,002) = 0,0215, c.$$

$$t_{py2}^{(5)} = (12 \div 9,5) \cdot (T_T + T_{\mu C0}) = (12 \div 9,5) \cdot (0,000917 + 0,002) = 0,027, c.$$

Для замкнутого контура

- полоса пропускания контура по модулю и по фазе изменяются в пределах

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{(0,5 \div 0,54)}{T_T + T_{\mu C0}} = \frac{(0,5 \div 0,54)}{0,00917 + 0,002} = 186,2 \text{ рад / c};$$

$$\omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{(0,71 \div 0,9)}{T_T + T_{\mu C0}} = \frac{(0,36 \div 0,42)}{0,000917 + 0,002} = 144,8 \text{ рад / c};$$

Для разомкнутого контура

- запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi = 30\text{дБ}$;

Таблица 11 – Показатели переходных процессов контура скорости с ПИ-регулятором

Показатели переходных процессов			
По управлению			
$t_{py1}^{(5)}$	$t_{py2}^{(5)}$	$\sigma, \%$	$\Delta W_{y.уст}, \text{рад / c}$
Ожидаемые показатели			
0,0215	0,027	(8,1 ÷ 10)	0
Результаты моделирования			
0,022	0,033	8,1	0,08

Вывод: Мы свели показатели переходных процессов контура скорости с ПИ- регулятором в таблицу, из которой видно, что ожидаемые показатели качества и результаты моделирования отличаются не намного- это говорит о правильности работы данного контура.

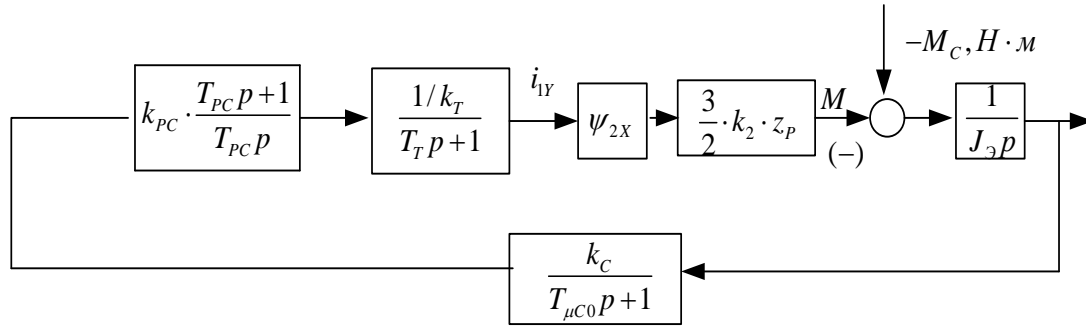


Рисунок 36

$$\begin{aligned}
 W(p)_{B.3AM} &= \frac{W(p)}{-M_C(p)} = \frac{\frac{1}{J_3} \cdot b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C3}^2 \cdot p \cdot (T_T \cdot p + 1) \cdot (T_{\mu C0} \cdot p + 1)}{b_C \cdot a_C \cdot T_T \cdot T_{\mu C0} \cdot T_{\mu C3}^2 \cdot p^4 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C3}^3 \cdot p^3 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C3}^2 \cdot p^2 + b_C \cdot a_C \cdot T_{\mu C3} \cdot p + 1} \approx \\
 &\approx \frac{\frac{1}{J_3} \cdot b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C3}^2 \cdot p \cdot (T_{\mu C3} \cdot p + 1)}{b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C3}^3 \cdot p^3 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C3}^2 \cdot p^2 + b_C \cdot a_C \cdot T_{\mu C3} \cdot p + 1} \approx \\
 &\approx \frac{\frac{1}{0,37} \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,00292^2 \cdot p \cdot (0,00292 \cdot p + 1)}{2 \cdot 2^2 \cdot 0,00292^3 \cdot p^3 + 2 \cdot 2 \cdot 0,00292^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 2 \cdot 0,00292 \cdot p + 1};
 \end{aligned}$$

$$\Delta \omega_{B.МАКС} \approx \frac{1,75 \cdot (T_T + T_{\mu C0})}{J_3} \cdot \Delta M_C \approx \frac{1,75 \cdot (0,000917 + 0,002)}{0,37} \cdot 59,6 \approx 0,822 \text{ рад/с};$$

- время отработки возмущающего воздействия

$$t_{PB} \approx (12,5 \div 10,9) \cdot (T_T + T_{\mu C0}) \approx (12,5 \div 10,9) \cdot (0,000917 + 0,002) \approx 0,0246, \text{с.}$$

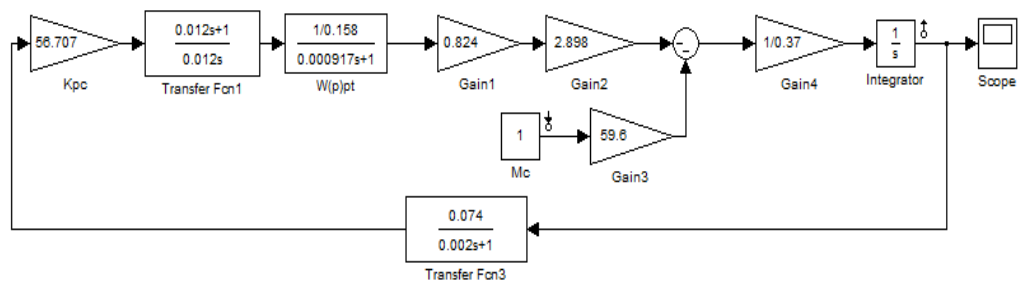


Рисунок 37 – Функциональная схема линейризованного контура скорости с ПИ- регулятором при отработке возмущения

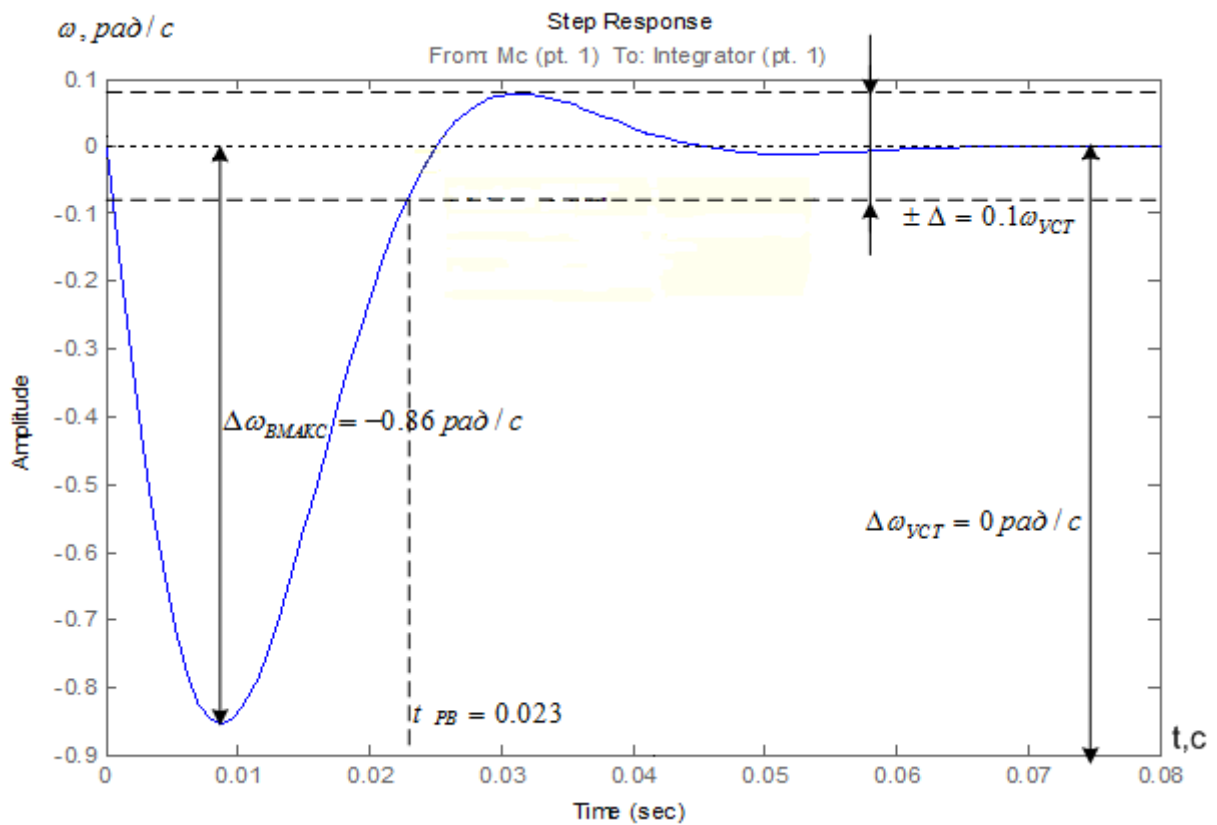


Рисунок 38 – Переходная характеристика контура скорости по структурной схеме рисунка 37

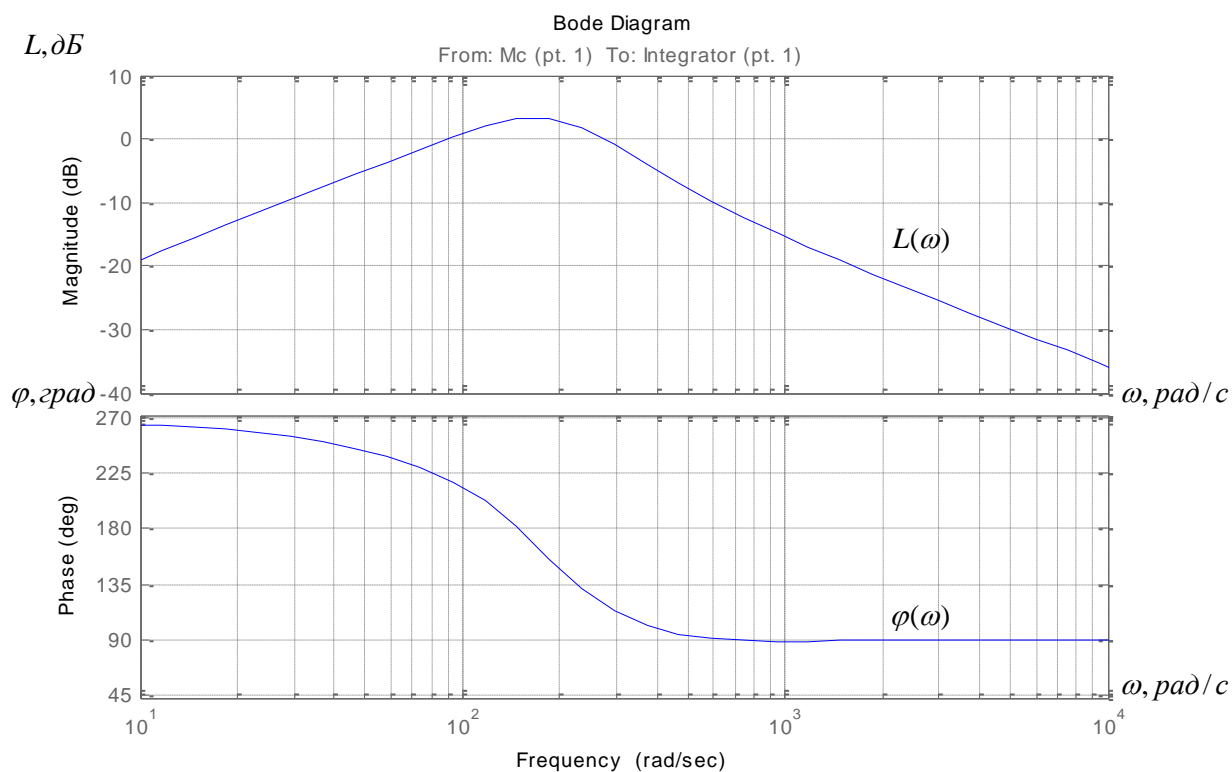


Рисунок 39 – Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура скорости, настроенного на СО(без фильтра на входе)

Примечание: Логарифмические частотные характеристики замкнутого и разомкнутого контуров одинаковы, поскольку ЛАЧХ замкнутого контура скорости по возмущению располагается в нижней полуплоскости, значит система эффективно подавляет возмущение

Таблица 12 – Показатели переходных процессов контура скорости с ПИ-регулятором

$\Delta W_{B.МАКС}, рад/с$ ($\Delta M_C = 59.6 Н \cdot м$)	$t_{PB}, с$	$\Delta W_{B.УСТ}, рад/с$
Ожидаемые показатели качества		

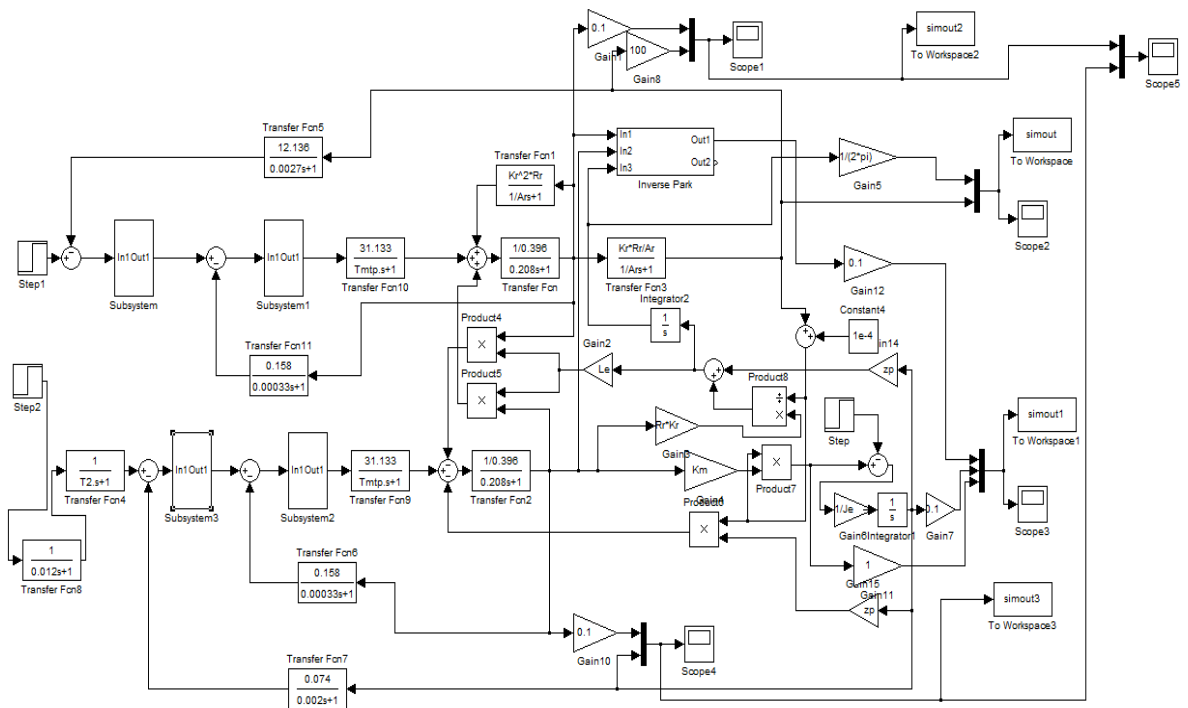
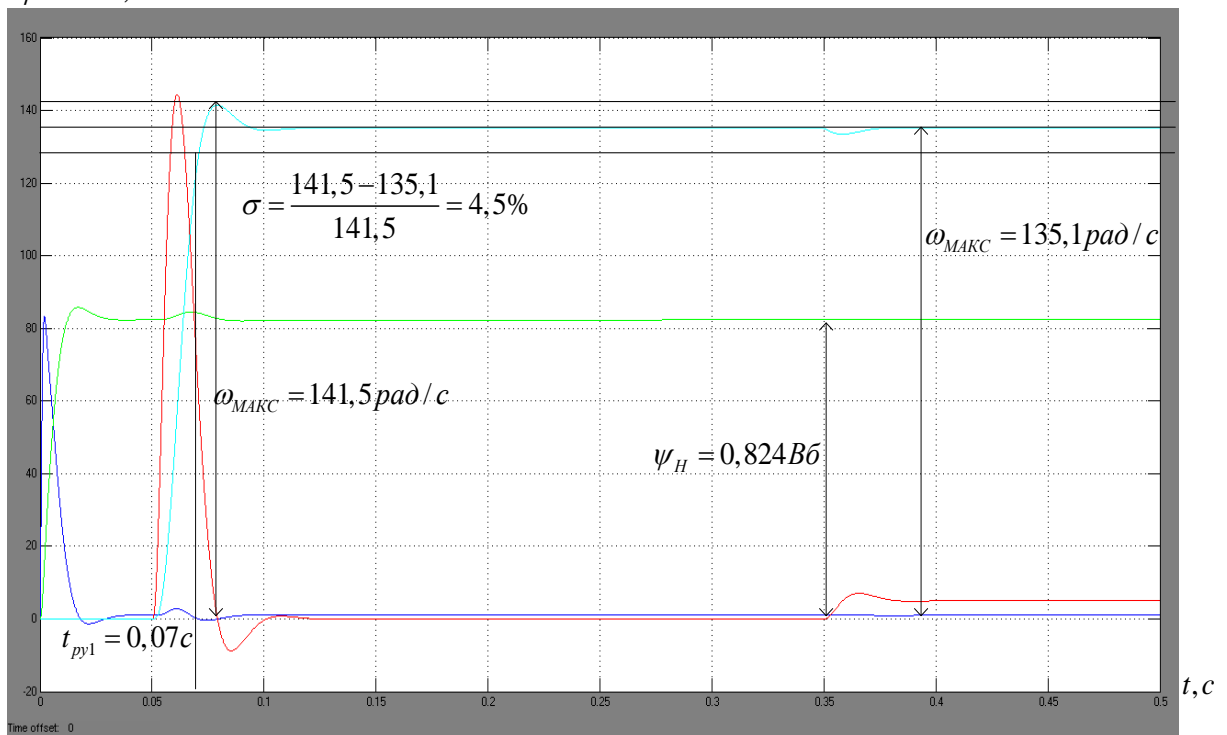


Рисунок 41

$\omega, \text{rad/c}$

$\psi \cdot 10^{-2}, \text{Bб}$



Рисунок

5.4.2. Работа асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД в стационарной системе координат

Используя структурную схему во вращающейся системе координат и блоки прямого и обратного преобразования, соберем схему в стационарной системе координат, показанную на рис.43.

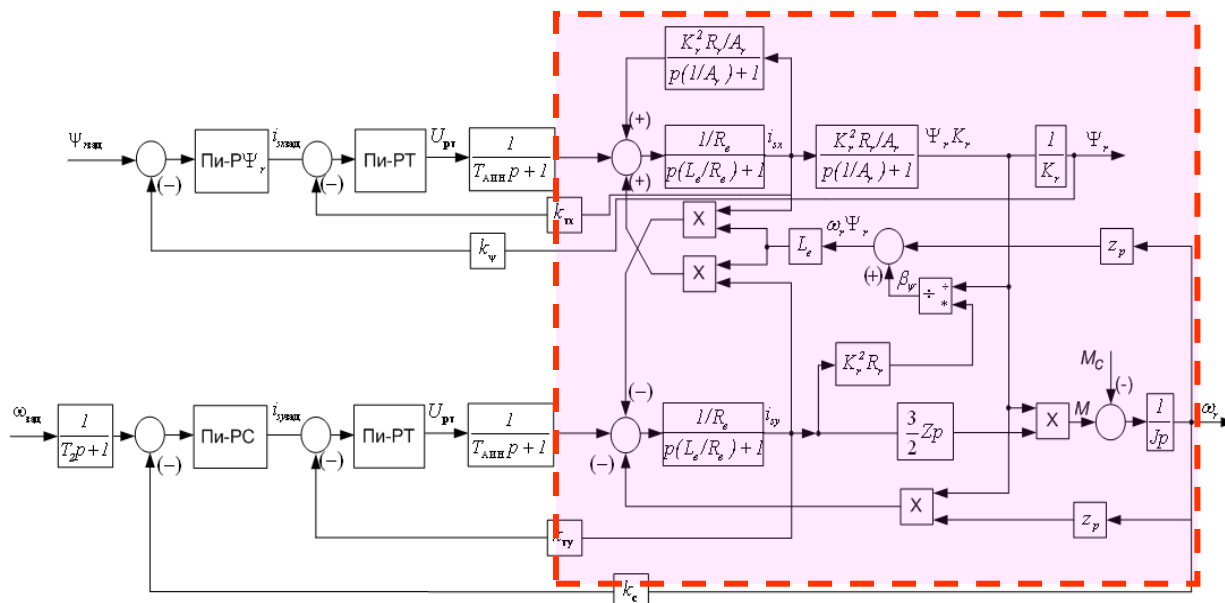


Рисунок 43 – Структурная схема системы линейризованного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат с ориентацией по вектору потокосцеплений ротора

Математические выражения для расчёта модуля и угла поворота вектора потокосцепления ротора

$$\Psi_r = \sqrt{\Psi_{r\alpha}^2 + \Psi_{r\beta}^2}$$

$$\theta_{\psi r} = \arctg \left(\frac{\Psi_{r\beta}}{\Psi_{r\alpha}} \right)$$

$\omega, \text{рад/с}$
 $\psi \cdot 10^{-2}, \text{Вб}$

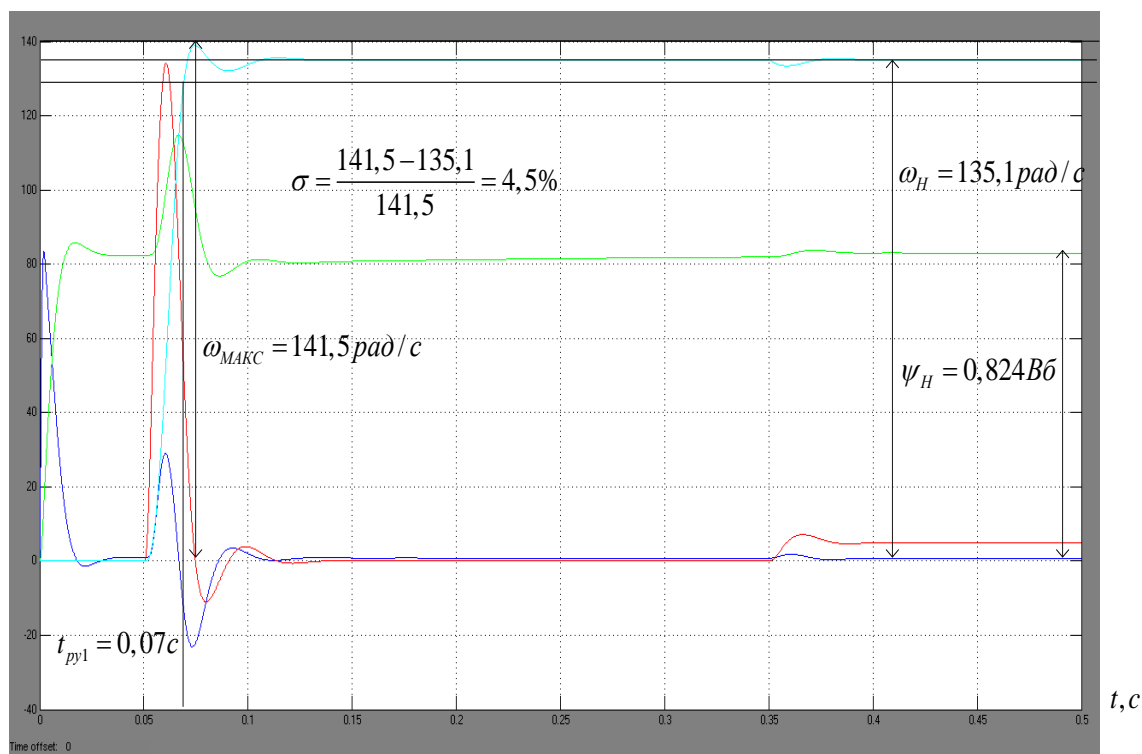


Рисунок 46 – Графики переходных процессов модели линейризованного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД в стационарной системе координат

Вывод: На основании рис 42 и 46 можно отметить, что графики переходных процессов в стационарной и вращающейся системах координат выглядят одинаково. Скачок токовой составляющей I_{SY} в стационарной системе координат вызвано взаимным влиянием двух контуров(тока и скорости). Перерегулирование в контуре скорости в обеих системах одинаково и не превышает 5%. Установившиеся значения скорости и потокосцепления равны номинальным значениям электропривода.

6. НЕЛИНЕЙНАЯ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Структурная схема нелинейной САУ частотно-регулируемого электропривода с векторным управлением приведена на рисунке 48. Структурная схема рисунка 48 создана по принципу структурной схемы линеаризованной САУ электропривода (рисунок 11).

Необходимость введения ограничений на выходе регуляторов

- ограничение максимальной амплитуды напряжения, подводимого к обмоткам АД;

$$\sqrt{U_X^2 + U_Y^2} \leq U_{\text{MAX}}$$

U_X - формирование магнитного потока в АД

U_Y -формирование момента на валу АД

- ограничение токов, протекающих в обмотках статора АД;

$$\sqrt{I_X^2 + I_Y^2} \leq I_{\text{MAX}}$$

I_X - намагничивающая часть составляющей тока статора АД

I_Y - эта составляющая пропорциональна моментному усилию, развиваемому на валу АД

- ограничение момента, развиваемого на валу АД.

Рекомендации для задания уровня ограничений на выходе регуляторов тока

$$U_X \approx 0.312 \cdot U_{\text{MAX}}$$

$$U_Y \approx 0.95 \cdot U_{\text{MAX}}$$

$I_{X\text{MAX}}$ - ограничение намагничивающей составляющей тока статора АД, 1,5...2 $I_{\text{ном}}$

$I_{Y\text{MAX}}$ - определяет максимальный момент, развиваемый на валу АД, 2...3 $I_{\text{ном}}$

Недостатки

Введение ограничений на выходе регуляторов приводит к изменению характера переходных процессов, полученных ранее при оптимизации.

Для приведения картины переходных процессов к удовлетворительному виду требуются дополнительные изменения структурной схемы системы управления.

Дополнительные меры

Применение ПИД-регуляторов с возможностью коррекции интегрального насыщения.

Установка задатчиков интенсивности во входных управляющих каналах для формирования плавного изменения заданий по скорости и потокосцеплению.

Коррекция интегрального насыщения

Интегральное насыщение возникает, когда ПИ- или ПИД-регулятор в течении длительного времени должен компенсировать ошибку, лежащую за пределами диапазона управляемой переменной. Поскольку выход регулятора ограничен, ошибку крайне сложно свести к нулю. Последствия: перерегулирование, колебательность, затягивание времени ПП.

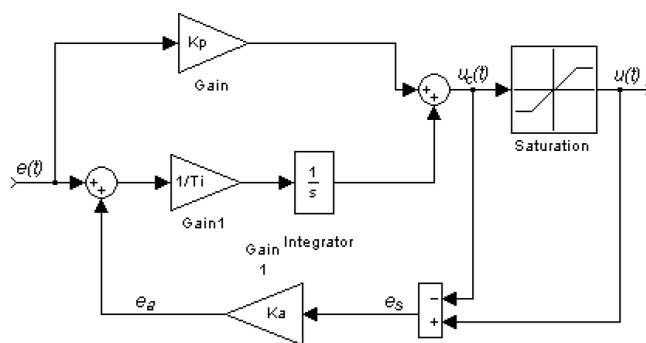


Рисунок 47

Задатчики интенсивности

Применение задатчиков интенсивности во входных управляющих каналах позволяет уменьшить влияние нелинейностей, присутствующих в системе.

Кроме интенсивности изменения сигнала, задержка на формирование задания в канале скорости позволяет рациональнее использовать ресурс источника и уменьшить влияние нелинейностей.

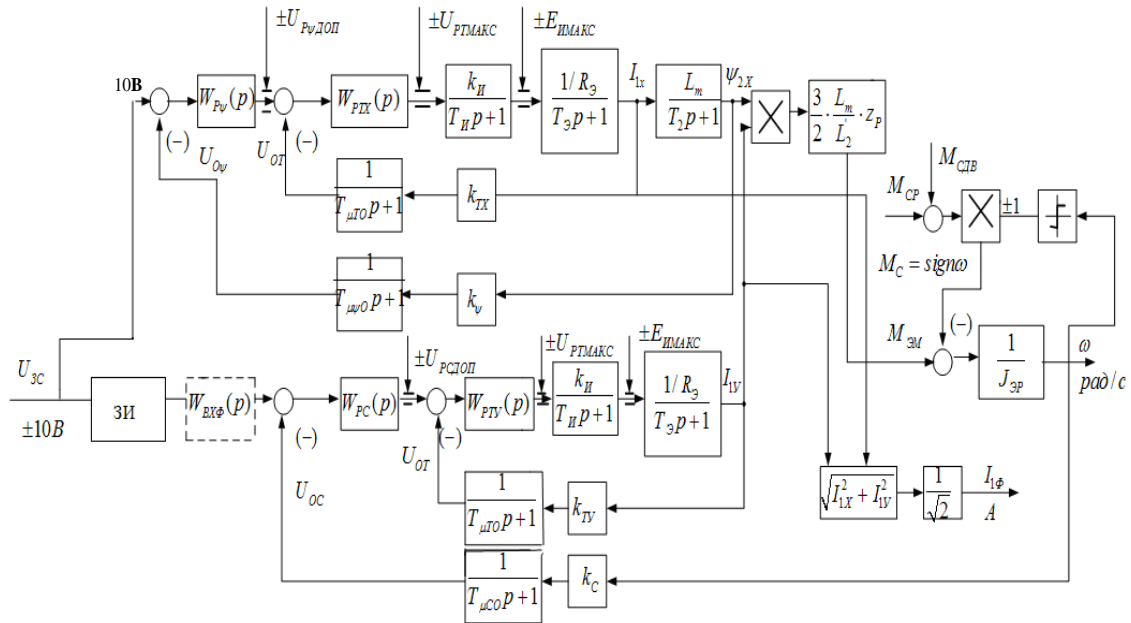


Рисунок 48

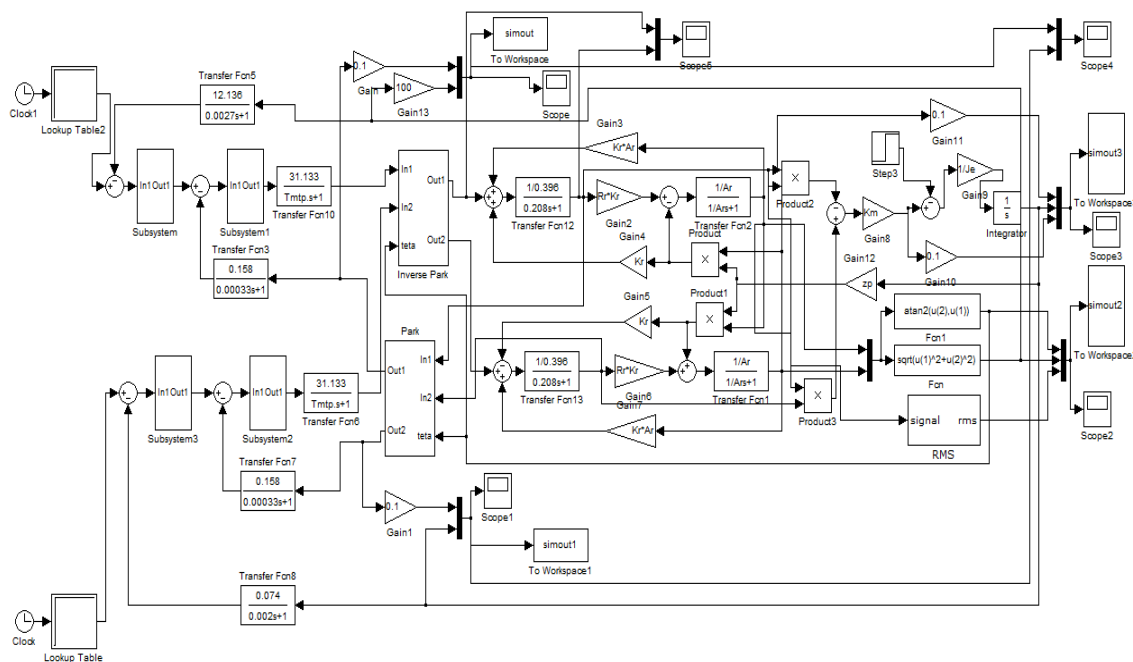


Рисунок 49

6.2 Исследование изменения величины перерегулирования замкнутого контура при подаче различных U_{zc}

При подаче входного сигнала $U_{zc}=10$ В, соответствующего $\omega_{мин} = \omega_{уст} = 135$, рад/с, получены переходные процессы, представленные на рис.50.

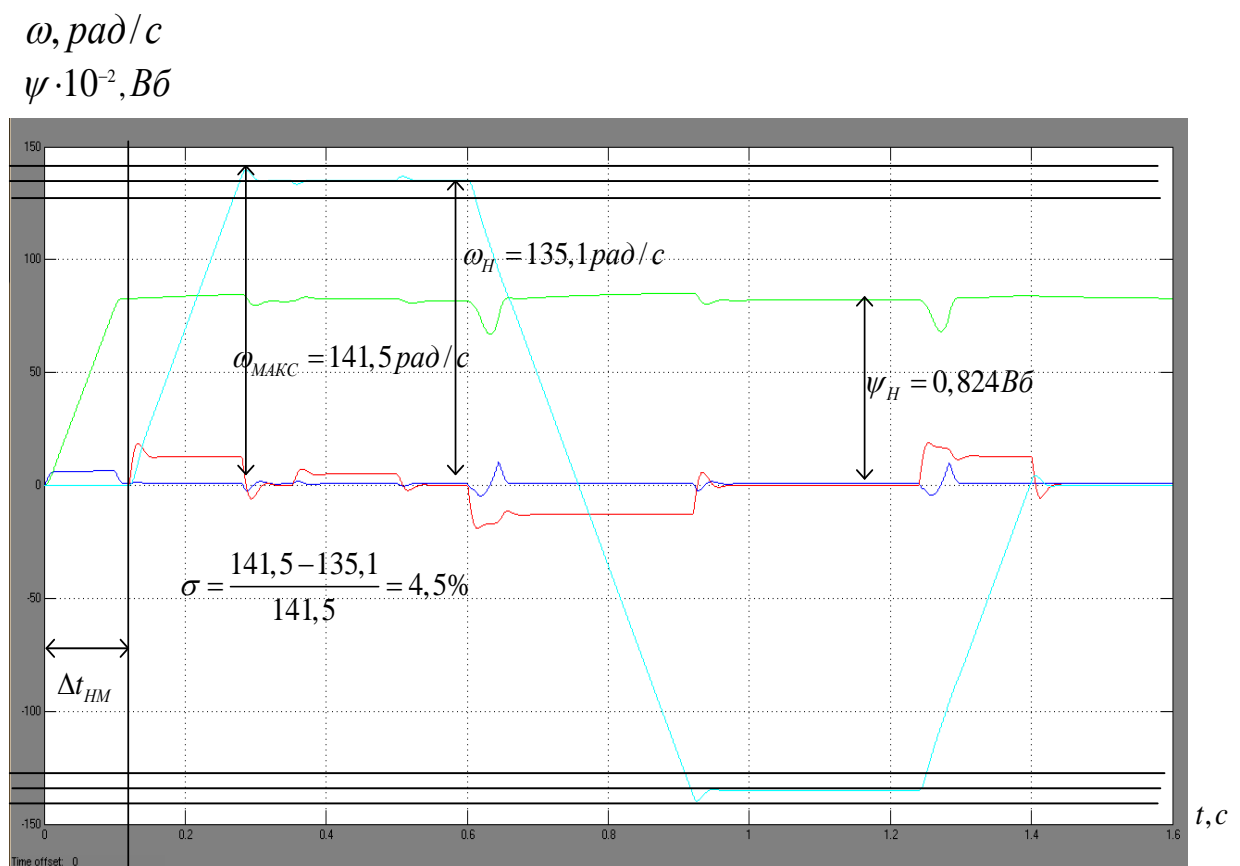


Рисунок 50 – Графики переходных процессов в нелинейной САУ РЭП при $U_{zc}=10\text{В}$ (пуск, наброс, сброс нагрузки, торможение и реверс)

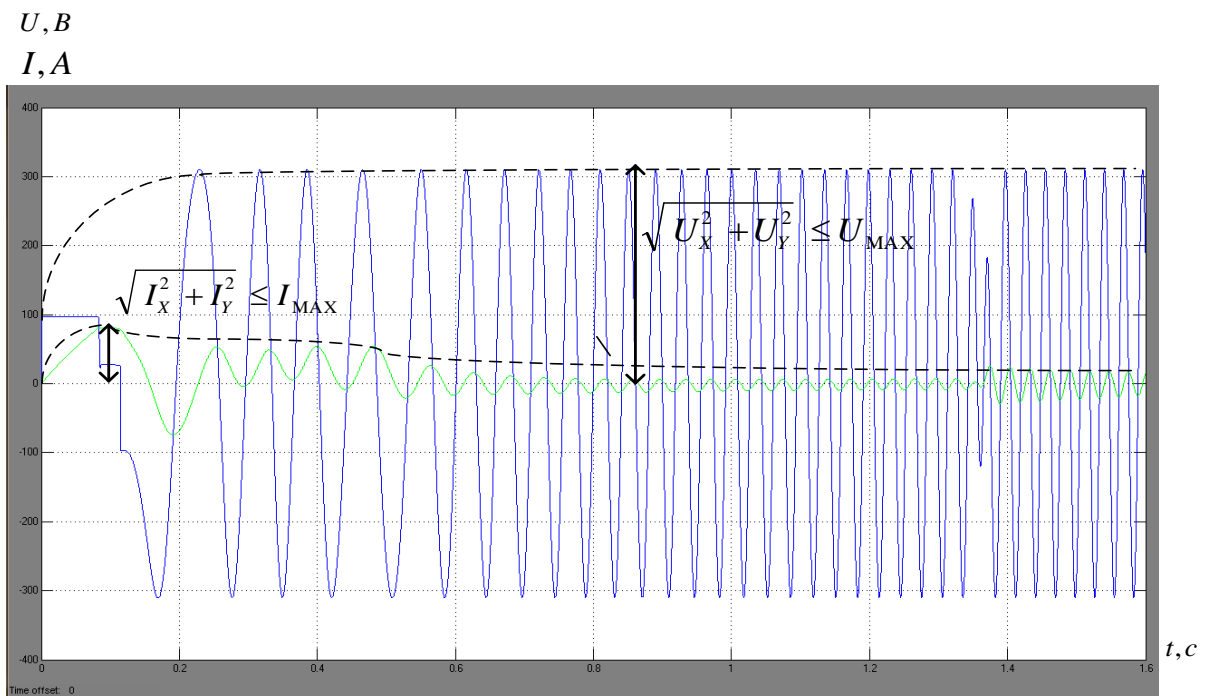


Рисунок 51 – Графики тока и напряжения в нелинейной САУ РЭП при $U_{зс}=10V$ (пуск, наброс, сброс нагрузки, торможение и реверс)

При подаче входного сигнала $U_{зс}=2\text{ В}$, соответствующего $\omega_{МИН} = \omega_{УСТ} = 27, \text{ рад/с}$, получены переходные процессы, представленные на рис.52.

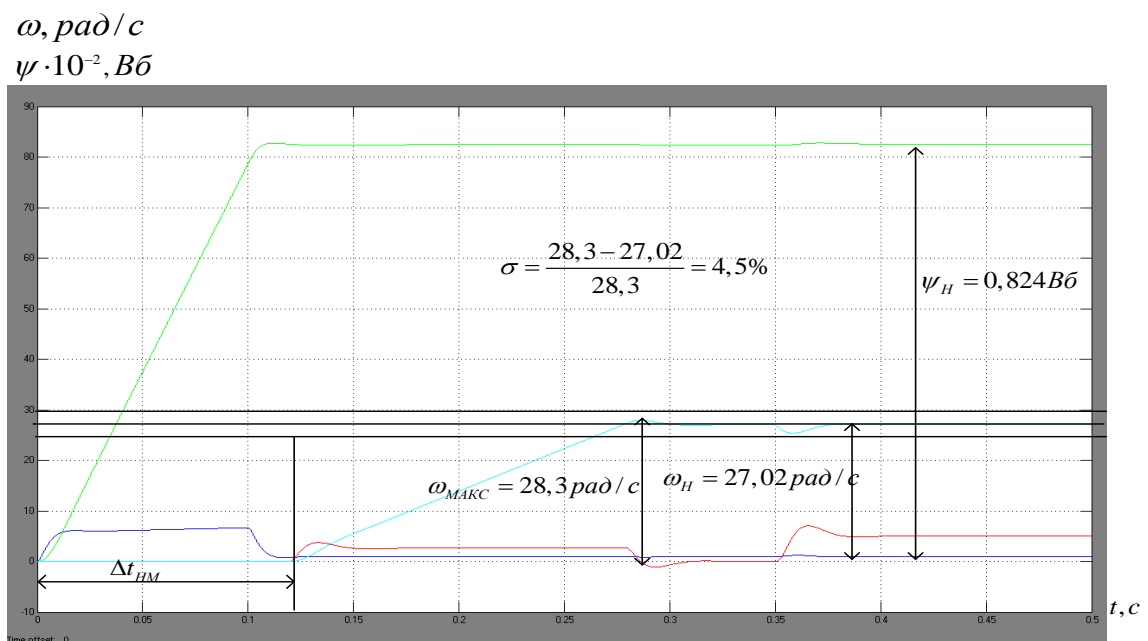


Рисунок 52 – Графики переходных процессов в нелинейной САУ РЭП при $U_{зс}=2V$ (пуск и наброс нагрузки)

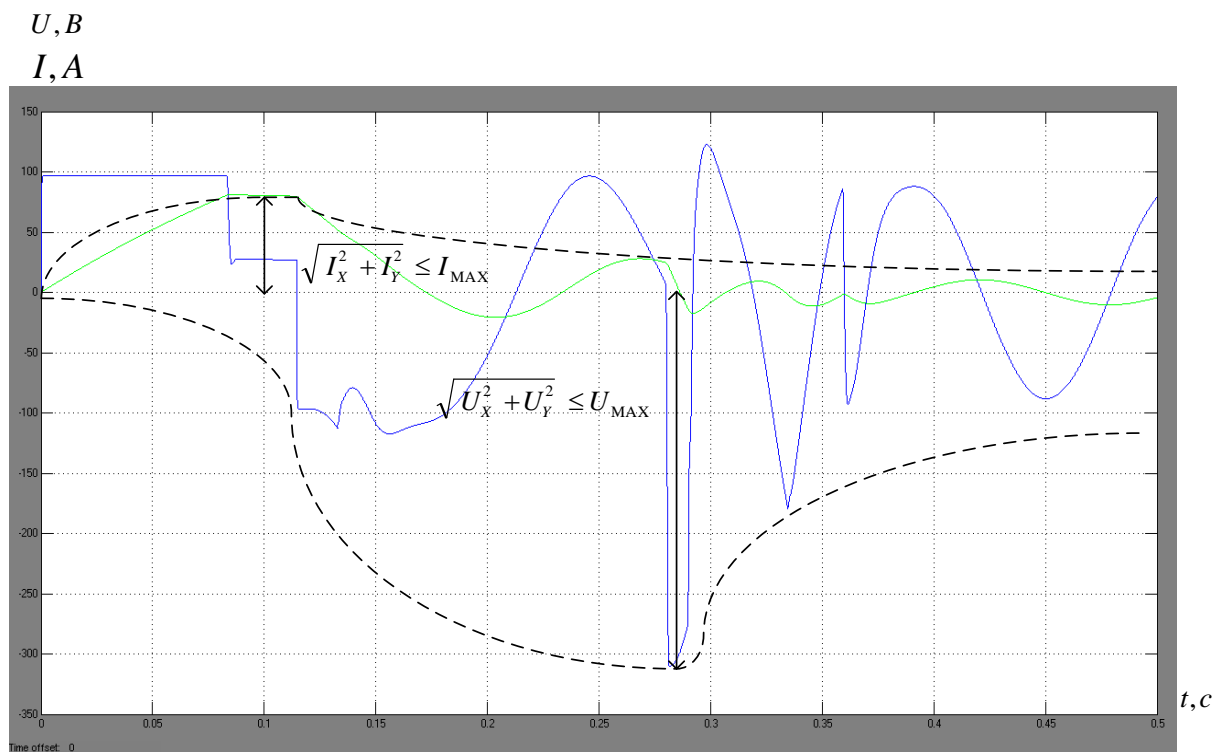


Рисунок 53 – Графики тока и напряжения в нелинейной САУ РЭП при $U_{зс}=2B$ (пуск и наброс нагрузки)

При подаче входного сигнала $U_{зс}=5$ В, соответствующего $\omega_{мин} = \omega_{уст} = 67.5$, рад/с, получены переходные процессы, представленные на рис.54.

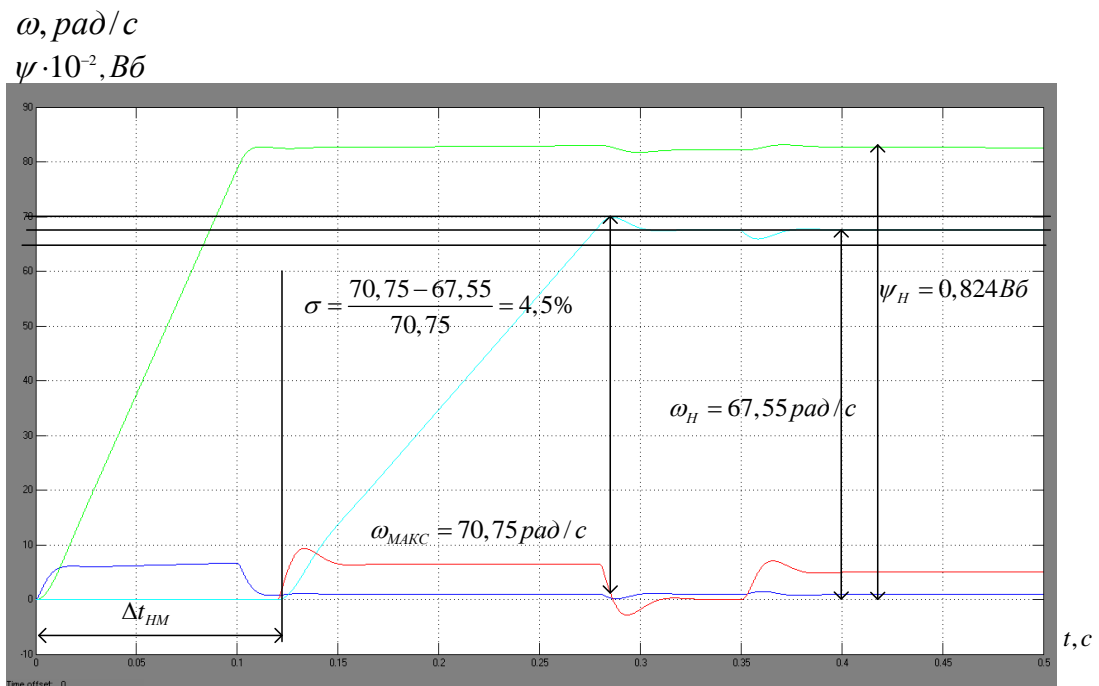


Рисунок 54 – Графики переходных процессов в нелинейной САУ РЭП при
 $U_{3c}=5B$ (пуск и наброс нагрузки)

U, B
 I, A

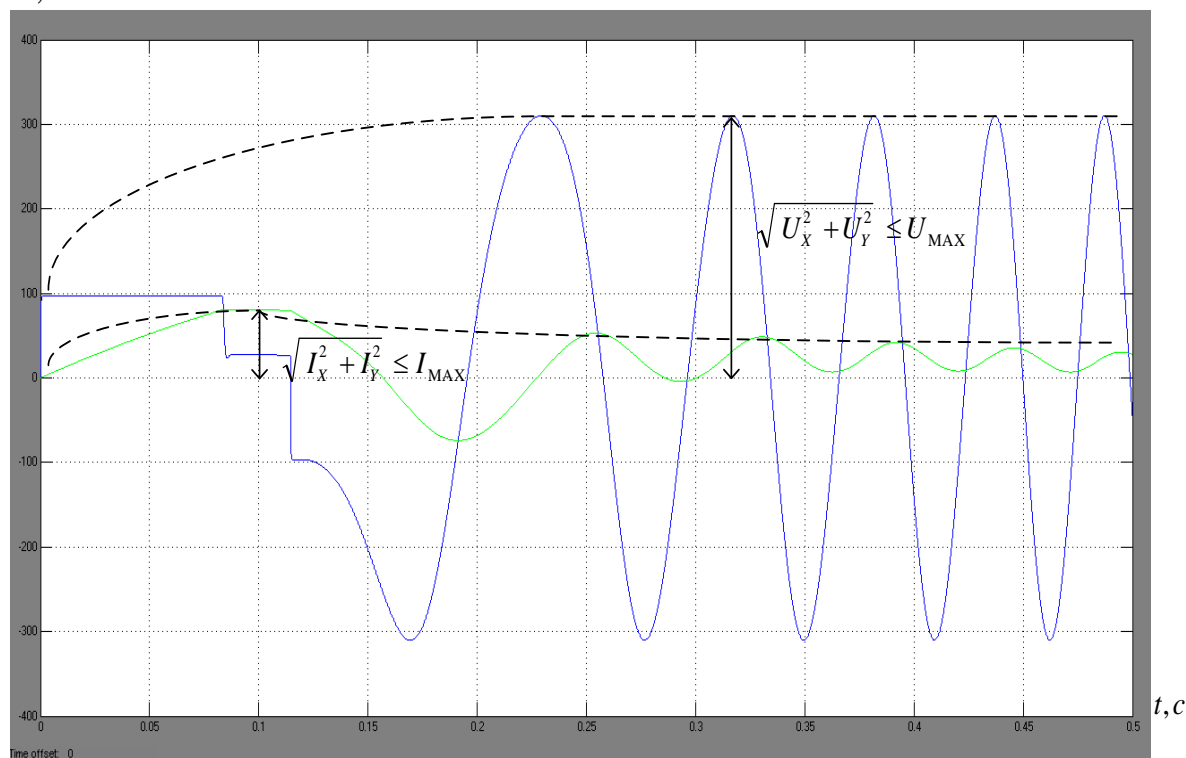


Рисунок 55 – Графики тока и напряжения в нелинейной САУ РЭП при
 $U_{3c}=5B$ (пуск и наброс нагрузки)

Вывод: Исследовав нелинейную непрерывную САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении в стационарной системе координат при подаче на вход различных U_{3c} видно:

1. Характер переходных процессов для всех заданий U_{3c} идентичен.
2. Установившиеся величины скорости и потокосцепления достигают номинальных значений электропривода.
3. Перерегулирования в контуре скорости при различных заданиях U_{3c} не превышает 5%.
4. При набросе и сбросе нагрузки перерегулирование в контуре скорости также не превышает 5%.

Графики тока и напряжения показывают, что их максимальные значения не превышают заданных ограничений ($U \leq \sqrt{2} \cdot 220$, $I \leq 3 \cdot I_{дв.н}$).

7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.

Цель данного раздела – рассмотрение технического проекта с точки зрения его целесообразности и эффективности. Достижение цели обеспечивается решением задач:

- организация работ технического проекта;
- определение сметы проекта;
- определение ресурсоэффективности проекта.

В данном разделе рассчитывается сумма затрат на проектирование реверсивного регулируемого электропривода и сумма затрат на покупку оборудования для реализации проекта.

7.1 Организация работ технического проекта

- определение перечня работ в проектировании системы регулирования электропривода;
- установление продолжительности работ;

Для формирования рабочей группы выбираем двух человек: преподавателя и студента (бакалавр). Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования, распределены исполнители по видам работ.

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей приведен в таблице. 13

Таблица 13 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

№ Раб	Основные этапы	Должность исполнителя
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
2	Подбор и изучение литературы по теме	Бакалавр
3	Подбор источников, касающихся расчетов и различных сторон ТП	Бакалавр
4	Сбор исходных данных на разработку технического проекта	Бакалавр
5	Расчет параметров элементов силовой цепи	Бакалавр
6	Структурно-параметрический синтез регуляторов САУ РЭП	Руководитель
		Бакалавр
7	Оптимизация контура тока, скорости и потокосцепления	Бакалавр
8	Проверка выполненных расчётов руководителем проекта	Руководитель
9	Подбор вспомогательного оборудования для корректной работы ЭП	Бакалавр
10	Разработка функциональной схемы реверсивного электропривода	Бакалавр
11	Исследование разработанного электропривода методом имитационного моделирования	Руководитель Бакалавр
12	Оформление записки	Бакалавр
13	Окончательная проверка научным руководителем. Сдача выпускной квалификационной работы	Руководитель Бакалавр

Содержание работ в проектировании системы регулирования электропривода

№1 – составление технического задания (ТЗ) – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№2 – изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№3 – подбор источников – изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта

№4 – сбор исходных данных на разработку технического проекта – сбор параметров механизма, двигателей, нагрузок;

№5 – расчет параметров элементов силовой цепи – подготовка данных, ввод нагрузок в программу Mathcad на персональном компьютере, расчет на персональном компьютере параметров;

№6 – структурно-параметрический синтез регуляторов системы автоматизированного управления регулируемым электроприводом, разработка структурной схемы линеаризованной непрерывной САУ РЭП частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением;

№8 – проверка выполненных расчётов руководителем проекта;

№9 – подбор вспомогательного оборудования – выбор элементов электропривода;

№10 – разработка функциональной схемы реверсивного электропривода с помощью пакета КОМПАС-3D;

№11 – исследование разработанного электропривода методом имитационного моделирования, расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик электродвигателя

№12 – оформление расчётно-пояснительной записки

№13 – сдача проекта – окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовку к защите и защиту проекта.

7.2 Определение трудоемкости выполнения технического проекта

Задачей расчёта является разработка системы электроснабжения промышленного предприятия и экономическое обоснование принятых решений.

Трудоемкость выполнения проекта:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5},$$

Время выполнения работ приведено в таблице 14.

На основе таблицы 14 строим план-график проведения работ (таблица 15). График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР.

Общая продолжительность выполнения расчетов составила 108 рабочих дней ($t_{\text{раб}}$).

По данным табл. 14 и по линейному графику (Таблица 15) продолжительность работ для исполнителей проекта составляет: 108

- для руководителя проекта 6 раб.дн.;
- для студента 107 раб.дн

Таблица 14 – Определение продолжительности выполнения работ.

№ этапа	Наименование этапа	Кол-во человек	Трудоёмкость работ, чел-дни		
			Минимальная возможная	Максимальная возможная	Ожидаемая
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта	1	1	1
2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр	9	12	10
3	Сбор исходных данных на разработку технического проекта	Бакалавр	5	8	6
4	Сбор исходных данных на разработку технического проекта	Бакалавр	4	7	5
5	Расчет параметров	Бакалавр	11	15	13

	элементов силовой цепи				
6	Структурно-параметрический синтез регуляторов САУ РЭП	Руководитель преокта	1	1	1
		Бакалавр	12	14	13
7	Оптимизация контура тока, скорости и потокоцепления	Бакалавр	11	13	12
8	Проверка выполненных расчётов руководителем проекта	Руководитель проекта	1	1	1
9	Подбор вспомогательного оборудования для корректной работы ЭП	Бакалавр	10	12	11
10	Разработка функциональной схемы реверсивного электропривода	Бакалавр	12	14	13
11	Исследование разработанного электропривода методом имитационного моделирования	Руководитель проекта	1	1	1
		Бакалавр	10	15	12
12	Оформление записки	Бакалавр	5	7	6
13	Окончательная проверка научным руководителем. Сдача выпускной квалификационной работы	Руководитель проекта	2	3	2
		Бакалавр	6	7	6

Таблица 15 – План-график продолжительности работы

№	Вид работ	Испол- нители	T_{pi} раб. дн.	Продолжительность выполнения работ										
				Фев	Март			Апрель			Май			Июнь
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	Составление и утверждение технического задания	РП	1	■										
2	Подбор и изучение материалов по теме	Б	10	■										
3	Сбор исходных данных на разработку технического проекта	Б	6		■									
4	Подготовка и ввод данных в ЭВМ	Б	5			■								
5	Расчет параметров элементов силовой цепи	Б	13			■								
6	Структурно-параметрический синтез регуляторов САУ РЭП	РП	1					■						
		Б	13				■							
7	Оптимизация контура тока, скорости и потокосцепления	Б	12					■						
8	Проверка выполненных расчётов руководителем проекта	РП	1							■				
9	Подбор вспомогательного оборудования для корректной работы ЭП	Б	11							■				
10	Разработка функциональной схемы реверсивного электропривода	Б	13								■			
11	Исследование разработанного электропривода методом имитационного моделирования	РП	1										■	
		Б	12									■		
12	Оформление записки	Б	6										■	
13	Окончательная проверка научным руководителем. Сдача выпускной квалификационной работы	РП	2											■ ■
		Б	6											■ ■
Примечание: РП – Руководитель проекта, Б – Бакалавр														

7.3. Определение сметы проекта

В смету проекта включаются затраты на финансирование деятельности исполнителей: заработная плата всех работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данному проекту, отчисления во внебюджетные фонды, а также накладные расходы .

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} ,$$

где, $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{т}} + З_{\text{д}} + З_{\text{рк}}}{F_{\text{д}}},$$

где $З_{\text{т}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$З_{\text{д}}$ – стимулирующие выплаты;

$З_{\text{рк}}$ – доплата с учетом районного коэффициента, (для Томска $K_{\text{рк}} = 1,3$).

$F_{\text{д}}$ – фонд рабочего времени персонала, раб.дн.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 16

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы.

Исполнители	Оклад, руб	Доплата, руб	Районный коэф, руб	Месячный оклад работника , руб	Среднеднев ная заработная плата, руб	Продолжи - тельность, дн	Основна я заработн ая плата, руб
Руководитель	23260	2200	7640	32900	1270	6	7620
Бакалавр	8000	-	2400	10400	400	107	42800

Итого							50420
-------	--	--	--	--	--	--	-------

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной.

Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 17

Таблица 17 – Расчет полной заработной платы.

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб	Полная заработная плата, руб
Руководитель	0,15	7620	1145	8800
Бакалавр	0,12	42800	5135	48000
Итого				56800

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 56800 = 17,2 \text{ тыс.руб.}$$

7.3.3. Накладные расходы

Смета затрат на технический проект приведена в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет сметы проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс.руб.	Структура затрат, %
1. Затраты на полную заработную плату исполнителей проекта	56,8	64,5
2. Отчисления во внебюджетные фонды	17,2	19,5
3. Накладные расходы	14,0	16,0
Итого	88,0	100,0

Общая сумма затрат проекта по принятому варианту исполнения составляет 88,0 тыс.руб. Наибольшую часть суммы (65%) данного проекта составляет заработная плата исполнителям.

7.4. Расчет стоимости технических средств

Стоимость технических средств для запуска реверсивного регулируемого электропривода приведена в таблице 19 [11-12].

Таблица 19– Расчет стоимости технических средств.

Наименование	Кол-во, шт.	Цена, руб.
Частотный преобразователь VLT 5042 Danffos	1	29720
Асинхронный электродвигатель 4A160M4У3	1	17000
Выключатель трех полюсный с электромагнитным, тепловым или комбинированным расцепителем	1	2500
Тепловая защита с двумя реле	1	1600
Шкаф распределительный ШР11-73514-54У3	1	25700
Монтажный кабель		5000
Итого		81520

Стоимость оборудования учитывает затраты предприятия на транспортировку оборудования и рассчитывается по формуле:

$$C_{м.об} = C_{об} \cdot k_{тзр} ;$$

где $C_{об}$ – суммарная стоимость электрооборудования;

$k_{тзр}$ – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаемый $k_{тзр}=1,1$.

$$C_{м.об} = 81,5 \cdot 1,1 = 90 \text{ тыс.руб.}$$

Для запуска реверсивного регулируемого электропривода проектом предусмотрена закупка оборудования на сумму 90 тыс.руб.

7.5. Определение ресурсоэффективности проекта

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} a_i

b_i^a , b_i^p устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к проектированию реверсивного регулируемого электропривода:

- Экономичность: оптимизация затрат на производство электропривода на стадии проектирования приводит к их уменьшению на доли процентов, в абсолютном же измерении речь идет об экономии значительных средств;
- Гибкость: возможность частых перестроек технологии производства;
- Безопасность: обеспечение безопасной работы регулируемого электропривода;
- Надежность: бесперебойная работа электропривода, исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды;
- Простота и удобство в эксплуатации: возможность использования персоналом более доступного, автоматизированного и адаптивного по конструкции электропривода;
- Энергоэффективность: использование меньшего количества энергии для работы электродвигателя.

Весовые коэффициенты характеристик проекта приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Баллы
1. Экономичность	0,17	5
2. Гибкость	0,12	4
3. Безопасность	0,22	5
6. Надежность	0,24	5
7. Простота и удобство эксплуатации	0,09	4
8. Энергоэффективность	0,16	4
Итого	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_p = 5 \cdot 0,17 + 4 \cdot 0,12 + 5 \cdot 0,22 + 5 \cdot 0,24 + 4 \cdot 0,09 + 4 \cdot 0,16 = 4,63$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и безопасности позволяют судить о надежности системы.

В данном разделе выпускной квалификационной работы была рассчитана сумма затрат руководителя проекта и бакалавра на проектирование реверсивного регулируемого электропривода. Составлен график занятости для исполнителей. Общая сумма затрат проекта по принятому варианту исполнения составляет 88,0 тыс.руб.

Проектом предусмотрена закупка всего электрооборудования для реализации технического проекта. Общая сумма затрат на их покупку составила 90 тыс.руб.

8 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально - экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов при работе горизонтально-фрезерного станка (по нормативно-технической документации на оборудование ПО «НМЗ», инструментального цеха), разработка требований и мероприятий по технике безопасности, производственной санитарии, анализ пожарной безопасности и выработка мероприятий, направленных на предотвращение пожаров.

8.1 Характеристика помещения

Исследуемый электропривод работает в помещении, которое согласно ПУЭ относится к помещению без повышенной опасности, сухое не запылённое. Для безопасной работы человека большое значение имеет покрытие, сопротивление которого более 0,2 МОм и относится к токонепроводящему. Помещение цеха выполнено из негорючих материалов первой степени огнестойкости. Здание цеха состоит из сборных железобетонных конструкций, которые относятся к негорючим материалам первой степени огнестойкости и имеют предел огнестойкости R 120 (СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: Госстрой России, 1997-с.12)

Напряжение питания линии 220 и 380 В. Линия относится к электроустановкам до 1000 В. Обслуживание поручается лицам, имеющим квалификацию, соответствующую действующим требованиям.

8.2 Анализ опасных и вредных факторов

Основные виды опасностей относятся к физической группе воздействий. Данные травмы могут возникнуть:

- при попадании частей одежды и волос в крутящиеся механизмы линии;
- возможность поражения электрическим током.

Опасности психологической группы связаны с шумом и монотонностью в обслуживании станка, что приводит к снижению внимания, повышению травматизма.

К вредным факторам относятся:

- вибрация оборудования;
- неблагоприятный микроклимат.

Таблица 21

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами,									Уровни звуковых эквивалентных уровней
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	

										звука, дБА
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производствен- ных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

8.3 Техника безопасности

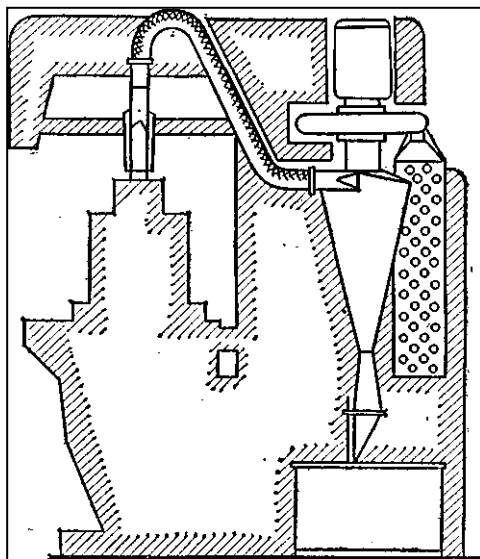


Рисунок 56 – Оборудование фрезерного станка для удаления из зоны резания стружки и пыли

К работе в цехе допускаются лица, хорошо изучившие правила обслуживания и управления станком и прошедшие инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

К работам по наладке электропривода допускаются не менее двух человек по письменному разрешению руководителя.

При настройке схем, замене предохранителей и т.д. необходимо использовать приборы и средства защиты, предназначенные для работ на электроустановках до 1000 В. Средства защиты, к которым относятся резиновые галоши, коврики, изоляция инструмента и т.д., должны проверяться перед каждым использованием. При наладке привода необходимо применение запрещающих и предупреждающих плакатов. Испытание электропривода осуществляется сначала на холостом ходу затем под нагрузкой.

Для безопасной работы механической части электропривода необходимо иметь ограждения, обладающие соответствующей прочностью.

Все токопроводящие части электропривода, проводка должны быть ограждены и не доступны для случайного прикосновения. С этой целью электропривод размещается в корпусе, защищенном от доступа. Часть проводки в рабочей зоне линии заключается в металлорукав или в специальные защитные щитки. Все металлические части, которые могут оказаться под напряжением, должны быть заземлены. Электропривод должен быть обеспечен аварийным выключателем для полного снятия напряжения с электродвигателя, проводки и приборов.

8.4 Производственная санитария

Неблагоприятные условия окружающей среды вредно воздействуют на организм работающего, снижают реакцию, повышают утомляемость. К производственным вредностям относятся неблагоприятный микроклимат, производственная пыль, вредные газы и пары, недостаточная освещенность.

Категория работ по энергозатратам, связанная с производством нагревательных ТЭНов, IIa (физическая средней тяжести, энергозатраты до 200 ккал/ч) [21].

Микроклимат производственного помещения согласно СанПиН 2.2.4.548-96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» характеризуются:

- температурой воздуха: Оптимальное значение: Допустимое значение:
 - в холодный период года $t=(19\div 21)^{\circ}\text{C}$; $t=(17\div 23)^{\circ}\text{C}$
 - в тёплый период года $t=(18\div 20)^{\circ}\text{C}$; $t=(18\div 27)^{\circ}\text{C}$;
- влажностью воздуха:
 - в холодный период года $(40\div 60)\%$; $(15\div 75)\%$;
 - в тёплый период года $(40\div 60)\%$; $(15\div 675)\%$;

Система отопления цеха - водяная, со встроенными в строительные конструкции нагревательными элементами.

Работа выполняется в спецодежде. Вспомогательные помещения имеют гардеробное оборудование и душевые комнаты. Производство относится к третьей категории вибрации, производственные шумы не значительны.

Безопасность на производстве в значительной мере зависит от освещения. Основная задача освещения на производстве - создание наилучших условий для зрения трудящихся. Эту задачу можно решить только осветительной системой. Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. В данном случае работа на вертикально-фрезерном станке относится к зрительной работы IV Г (СНиП 23-05-95). Требуемая норма освещения $E_{\text{НОР}}=200$ ЛК. Для создания $E_{\text{НОР}}$ применяется совмещенное освещение: естественное и общее люминесцентное освещение.

Для создания рациональных условий освещения важное значение имеет тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения. Необходимо следить за исправностью схем включения, регулярно заменять перегоревшие лампы. На предприятиях должно быть специально выделенное лицо, заведующее эксплуатацией освещения.

На производстве для защиты органов зрения от ультрафиолетового и инфракрасного излучения и слепящей яркости видимого света применяют защитные очки.

Для защиты органов слуха применяют: наушники, антифоны, беруши.

На предприятиях необходимо регулярно проводить организационные мероприятия по обеспечению безопасности труда.

8.5 Расчет искусственного освещения

$$S = A \times B = 16 \times 8 = 128 \text{ м}^2.$$

Методика расчёта освещения в литературе [].

$$E = E_0 \times K = 200 \times 1,5 = 300 \text{ лк}.$$

$q_n=70\%$, $q_c=50\%$, $q_z=10\%$. Уровень от рабочей поверхности до потолка составляет:

$$h = H - h_p = 5 - 1,1 = 3,9 \text{ м},$$

где h_p - высота рабочей поверхности.

Для освещения используются светильники типа ЛБ-40, для которых оптимальное отношение световых потоков составляет $g=1,3$. Расчетная длина между двумя рядами светильников:

$$L = g \times h = 1,3 \times 3,9 = 5,07 \text{ м}.$$

Число рядов светильников:

$$n = \frac{B}{L} = \frac{8}{5,07} = 1,58,$$

где B – ширина помещения.

Выбираем $n=2$ ряд светильников. Тогда индекс освещения:

$$i = \frac{S}{(A + B) \times n} = \frac{128}{(16 + 8) \times 2} = 2,7.$$

Зная коэффициенты отражения световых потоков от потолка, стен, пола в лаборатории, можно определить коэффициент использования светового потока:

$$\eta = \frac{q_n + q_c + q_z}{3} = \frac{70\% + 50\% + 10\%}{3} = 43\%.$$

Световой поток лампы ЛБ-40 составляет $F_0=2480\text{лм}$. Тогда световой поток светильника, состоящего из двух ламп: $F = 2 \times F_0 = 2 \times 2480 = 4960\text{лм}$.

Определим необходимое число светильников в ряду:

$$N = \frac{E \times S \times Z}{n \times F \times \eta \times \gamma} = \frac{300 \times 128 \times 1}{2 \times 4960 \times 0,43 \times 1} = 9,002 \approx 9$$

где $Z=1$ — $\gamma=1-l_{\text{св}}=1,27\text{м}$ [22],:

$$l_{\text{общ}} = N \times l_{\text{св}} = 9 \times 1,27 = 11,43\text{м}$$

Расстояние между светильниками

$$l = \frac{A - l_{\text{общ}}}{N + 1} = \frac{16 - 11,43}{9 + 1} = 0,46\text{м}$$

Таким образом, в лаборатории необходимо установить девять светильников в один ряд.

8.6 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность является одним из важнейших разделов охраны труда на производстве. Существенную роль в профилактике и предотвращении пожаров играет правильный выбор режима работы электрооборудования с учётом класса по пожароопасности. Все производственные помещения по пожароопасности разделяются на пять основных категорий. В процессе получения изделия на линии видимые признаки, обуславливающие возникновения пожара, отсутствуют и, следовательно, данное производство согласно [16] можно отнести к категории Д (производство, в котором негорючие вещества и материалы находящиеся в холодном состоянии). Помещение по пожарной опасности относится к классу П-1 (ПУЭ). Однако, в данном технологическом процессе пожар может возникнуть из-за такого короткого замыкания, вызывающих высокую температуру нагревания проводников, что приводит к их выплавлению из изоляционного материала. В этом отношении опасны недопустимые электрические перегрузки проводов и обмоток электрических машин. В местах плохого контакта соединения

проводников вследствие большого переходного сопротивления выделяется большое количество тепла. Это приводит к повышению температуры и воспламенения изоляции. Были установлены общие требования пожарной безопасности к объектам различного назначения всех отраслей народного хозяйства при строительстве и эксплуатации. Пожарная безопасность должна обеспечиваться:

- системой предотвращения пожара;
- системой противопожарной защиты;
- организационно-техническими мероприятиями.

Системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, обеспечивающих сохранность материальных ценностей, следует применять при наличии экономической эффективности от их внедрения. Экономическая эффективность должна рассчитываться с учётом вероятности возникновения пожара и возможного ущерба от него. Предотвращение пожара должно достигаться предотвращением образования горючей среды. Это должно обеспечиваться минимально возможным применением горючих материалов.

Автоматические установки пожаротушения и установки пожарной сигнализации, введённые в объект, должны удовлетворять требованиям проектной документации и отраслевым стандартам.

Огнетушители различных видов относятся к классу переносных средств пожаротушения. Огнетушители, годные к эксплуатации, должны иметь бирку и маркировку и должны быть окрашены в красный цвет. Зарядка и перезарядка всех типов огнетушителей должна выполняться в соответствии с инструкциями по эксплуатации. Огнетушители должны располагаться в заметных и легко доступных местах, где исключено попадание солнечных лучей. Количество первичных средств пожаротушения определяется по [16]:

Таблица 22 – Количество первичных средств пожаротушения

Цех	$S_{\text{цеха}},$ м^2	Огнетушители		Ящик с песком, м^2
		О У-5	ОХ П-10	
Инструментальный цех	300	1	2	1

Пожарный ручной инструмент и инвентарь, размещенный на объекте, подлежит периодическому обслуживанию, включающему следующее:

1. Очистка от пыли, грязи и коррозии;
2. Восстановление соответствующей окраски.

Ящики с песком должны быть укомплектованы лопатой и иметь вместимость до 3 м^3 .

На рабочем месте каждый станок должен быть оснащен защищенной аппаратурой. Должна быть предусмотрена блокировка и защита на случай короткого замыкания и перегрузок, обеспечения возможности снятия напряжения всего оборудования с помощью расположенных вне помещения рубильников. Для курения должны быть отведены специальные места. В производственных помещениях должна обеспечиваться возможность эвакуации людей и оборудования в случае пожара. План эвакуации на случай пожара представлен на рисунке 57.

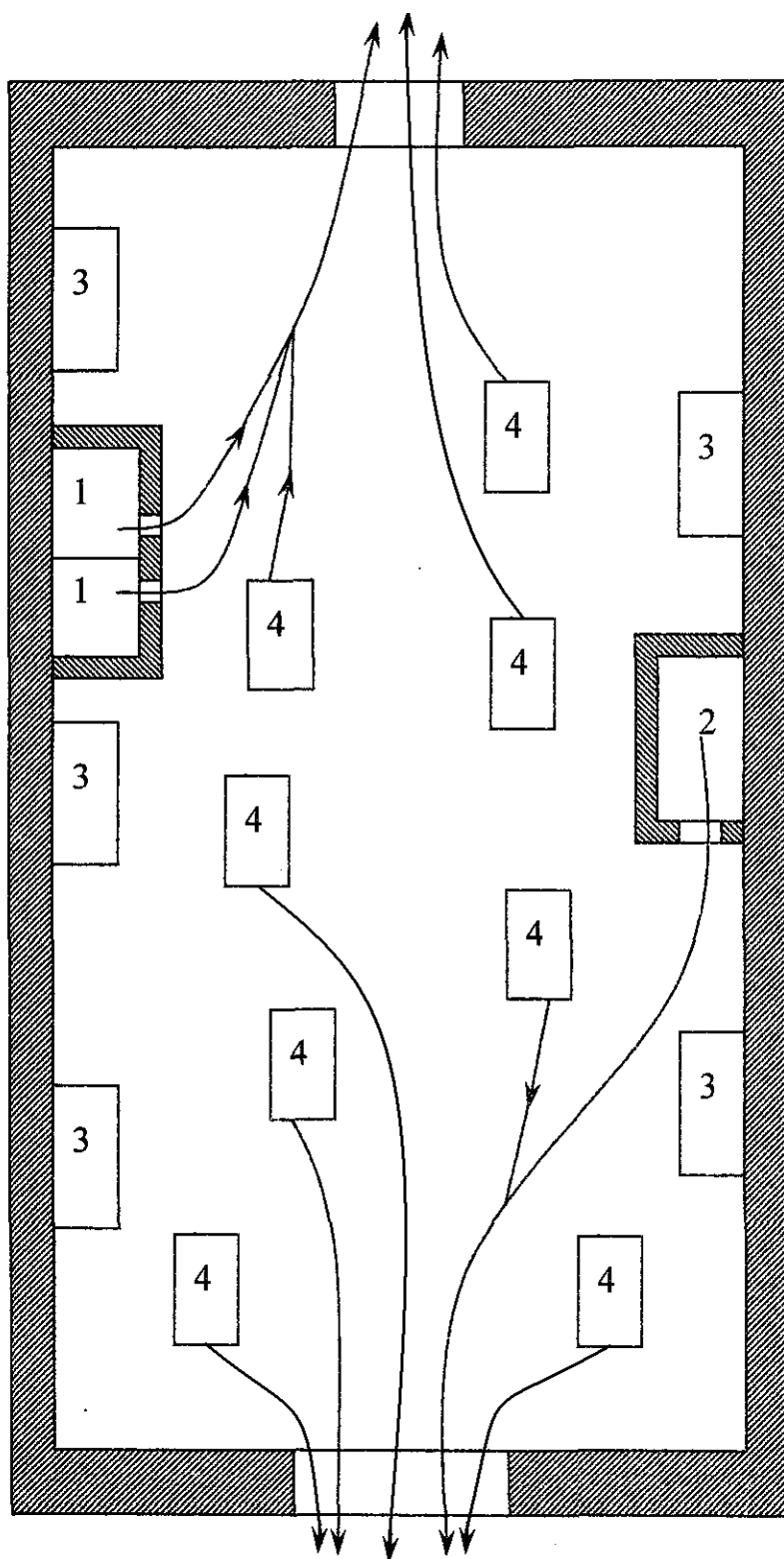


Рисунок 57 – План эвакуации на случай пожара: 1- руководство цеха; 2- ОТК; 3- первичные средства пожаротушения; 4- рабочие места.

8.7 Охрана окружающей среды

Проблема защиты окружающей среды - одна из важнейших задач современности. Выбросы промышленных предприятий в атмосферу, водоёмы и недра на современном этапе развития достигли таких размеров, что в ряде районов земного шара, особенно в крупных промышленных центрах, уровень загрязнений существенно превышает допустимые санитарные нормы.

Вода используется для вспомогательных целей: охлаждение (подогрева) исходных материалов и продукции предприятия, охлаждение деталей и узлов технологического оборудования, промывки и очистки продукции, что приводит к загрязнению воды растворимыми и нерастворимыми примесями; хозяйственно бытового обслуживания работников предприятия.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению ресурсо- и энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять электрооборудование с малым энергопотреблением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с техническим заданием в работе разработан электропривод горизонтально-фрезерного станка. Предложено в качестве регулируемого электропривода использовать электропривод переменного тока. Осуществлён выбор двигателя и преобразователя частоты. Предложено использование преобразователя частоты Danfoss с реализацией принципов частотно-токового векторного управления. Выполнен синтез и оптимизация контуров регулирования, разработана математическая модель системы управления и выполнены имитационные исследования, результаты которых подтвердили соответствие показателей качества ожидаемым. В целом, по результатам исследований сделан вывод о возможности использования электропривода переменного тока с векторным управлением для построения системы автоматического управления двигателем и даны практические рекомендации по настройке контуров регулирования.

В целом, результаты аналитических и имитационных исследований доказывают, что предложенная система автоматизированного ЭП соответствует требованиям технического задания.

Данная работа выполнялась в программной среде Matlab Simulink.

В выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы техники безопасности и экологичности, проведён экономический расчёт и анализ пуско-наладочных работ.

Список используемых источников

1. Удут Л. С., Мальцева О.П. Краткие методические указания к выполнению курсового проекта по теме “Частотно- регулируемый электропривод переменного тока”.
2. Сандлер А.С. Электропривод и автоматизация металлорежущих станков .- М.: Высш. шк., 1972.-440с.
3. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Расчет характеристик электропривода переменного тока. Ч. 1. Асинхронный электродвигатель: Учебное пособие.- Томск: Изд-во ТПУ, 2005.- 136с
4. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов. – М.: Академия, 2005.-304с.
5. Елисеев В. А., Шинянский А.В. Справочник по автоматизированному электроприводу. – М.: Энергоатомиздат, 1983.-616с.
6. <http://www.instrumentmarket.ru/>
7. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э.Кравчик, М.М.Шлаф, В.И.Афонин, Е.А.Соболенская.- М.: Энергоиздат, 1982.- 504с
8. Андреев Г.И. Электроприводы главного движения металлорежущих станков с ЧПУ . – М.: Машиностроение, 1980.-152с.
9. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учеб. Пособие для вузов.- 2-е изд., доп.-М.:Высш.шк., 2000.-255с.,ил.
- 10.Видяев И.Г. Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А.Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницына; ТПУ.- Томск: Изд-во ТПУ, 2014-36с
- 11.<http://www.chastotniki.ru/chastotniki.php?gclid=CLu9-sevms0CFcTUcgodHLMKeQ>,
12. <http://www.normogrand.ru/price.html>
- 13.СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

14.НПБ 105-03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

15.ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003

16.Охрана труда/Под ред. Б.А. Князевского. - М.: Высш.шк., 1982

17. Охрана окружающей среды/Под ред. С.В.Белова. - М.:Высш.шк..1991

18. Долин П. А. Справочник по технике безопасности. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 824 с.

19. Родинов А.С., В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников. Техника защиты окружающей среды. - М. :Химия. 1989

20.Правила устройства электроустановок. 6-е изд. - Энергоатомиздат. 2000. - 640 с.